



Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa



Faculdade de Medicina Veterinária
Universidade Técnica de Lisboa

A fibra na alimentação do coelho
Dreches de cervejaria relativamente à luzerna e à polpa de
beterraba

Ana Rita Domingos Galrão Vieira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Zootécnica – Produção Animal

Orientadora: Doutora Luísa Almeida Lima Falcão e Cunha, professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Co-orientador: Doutor Mário António Pereira Silva Soares de Pinho, Professor Auxiliar da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Técnica de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor José Pedro da Costa Cardoso Lemos, Professor Associado da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutora Luísa Almeida Lima Falcão e Cunha, professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Doutora Arminda da Conceição Coutinho Martins Bruno Soares, Investigadora Principal do Instituto superior de agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Mário António Pereira Silva Soares de Pinho, Professor Auxiliar da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Rui José Branquinho de Bessa, Professor Auxiliar da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Técnica de Lisboa

Lisboa, 2009

AGRADECIMENTOS

Ao apresentar este trabalho quero deixar o mais profundo agradecimento a todos os que contribuíram, de forma directa ou indirecta, na sua realização.

À Professora Doutora Luísa Falcão, pela motivação e simpatia com que sempre me recebeu ao longo destes anos como sua aluna, por ter aceite a orientação deste trabalho e pela disponibilidade e interesse demonstrados ao longo da sua realização, o meu muito obrigada.

Ao Professor Doutor Mário António Pinho, da Faculdade de Medicina Veterinária, por ter aceite a co-orientação deste trabalho e por toda a disponibilidade demonstrada durante o decurso do mesmo.

A todos os docentes do departamento de Produção Animal do Instituto Superior de Agronomia que contribuíram decisivamente para o alicerçar dos meus conhecimentos.

A todos os que colaboraram na realização do trabalho experimental e nas determinações laboratoriais, sem os quais a execução deste trabalho não teria sido possível. Quero expressar a minha gratidão:

Ao senhor José António Martins, por todo empenho e disponibilidade demonstrados.

À Sr^a D^a. Lígia Forte, à Sr^a D^a. Cesaltina Pires e à Sr^a D^a Lurdes pela elaboração da maioria das análises realizadas e em quem encontramos sempre disponibilidade e rigor.

Quero agradecer a todo o grupo do Laboratório de Fisiologia Vegetal, pela conversa, brincadeiras e principalmente por me terem permitido utilizar o vosso espaço para a fase mais complicada da tese, a escrita.

Quero ainda deixar expressa uma palavra de reconhecimento, pela amizade que me mostraram ao longos de todos os anos de curso e pelo sentido de humor necessário nos momentos mais difíceis:

Cláudia, Andreia e Inês, obrigada pelos melhores momentos da minha vida.

Por último, quero deixar uma palavra cheia de amor e carinho às pessoas mais importantes da minha vida e aos quais dedico este trabalho:

Aos meus pais, que me educaram e me incentivaram sempre a seguir a minha formação académica. À minha irmã por todas as gargalhadas e brincadeiras. E ao Luís pela paciência que mostrou ao longo destes anos e por todo amor que me tem demonstrado.

RESUMO

Com o objectivo de comparar o efeito da natureza da fibra na digestibilidade dos componentes da dieta, nos parâmetros produtivos e no desenvolvimento do aparelho digestivo do coelho, foram elaboradas quatro dietas experimentais com 50% do NDF de fontes de fibra diferentes: luzerna (AL), dreches não lavados (DNL), dreches lavados (DL) e polpa de beterraba (BEET). As dietas foram distribuídas por 144 coelhos aos 21 dias, 3 x 12 gaiolas por regime. Dos 28 aos 70 dias manteve-se 1 x 12 gaiolas por regime.

A fonte de fibra afectou o consumo de alimento (117, 96, 95 e 83 g dia⁻¹, para AL, DNL, DL e BEET, respectivamente), o aumento de peso diário (44, 40, 41, 35 g dia⁻¹, para AL, DNL, DL e BEET, respectivamente) e o índice de conversão (2.70, 2.42, 2.30 e 2.40, para AL, DNL, DL e BEET, respectivamente), verificando-se um valor inferior no peso final dos coelhos do regime BEET (1937 g). A fonte de fibra afectou significativamente os coeficientes de utilização digestiva (CUD) calculados às 8 semanas (0.642, 0.718, 0.711 e 0.723 da MS e 0.648, 0.724, 0.717 e 0.728 da MO, para AL, DNL, DL e BEET, respectivamente), não afectando a digestibilidade da PB. Os constituintes da parede celular foram mais digestíveis no regime BEET. A natureza da fibra afectou significativamente o peso da carcaça, do aparelho digestivo cheio e do ceco cheio e vazio. O fígado nos regimes de luzerna e dreches apresentou-se 30% mais pesado do que em BEET.

A morfologia intestinal não foi afectada pela natureza da fibra nas últimas 6 semanas de ensaio.

Palavras-chave: Coelho; Digestibilidade; Dreches; Fonte de fibra; Regime alimentar.

ABSTRACT

To compare the effect of nature of fibre in total tract apparent digestibility, in productive parameters and development of the rabbit's digestive device, four experimental diets with 50% of the neutral detergent fibre (NDF) from different fibre sources were set up: alfafa (AL), not washed brewer's spent grain (DNL), washed brewer's spent grain (DL) and beet pulp (BEET). The diets were distributed by 144 rabbits at 21 days old, 3 x 12 cages per diet. From 28 to 70 days old, 1 x 12 cages per diet remained.

The source of fibre affected intake, growth and feed conversion ratios. Intake was 117, 96, 95 and 83 g day⁻¹, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. Growth was 44, 40, 41 and 35 g day⁻¹, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. Finally, feed conversion ratios were 2.70, 2.42, 2.30 and 2.40, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. Therefore, there was an inferior value in the final weight of BEET fed rabbits. The source of fibre significantly affected the coefficients of total tract apparent digestibility (CTTAD), calculated at 8 weeks old (0.642, 0.718, 0.711 and 0.723 of DM and 0.648, 0.724, 0.717 and 0.728 of OM, in AL, DNL, DL and BEET, respectively), not affecting CP digestibility. Cellular wall components were more digestible in BEET diet. The nature of fibre significantly affected the weight of carcass, full digestive device, full and empty caeca and pH values of digestive and caecal contents. The liver in alfafa and brewer's spent grain diets were 30% heavier than in BEET.

The intestinal morphology was not affected by the nature of fibre in the last 6 weeks of assay.

Keywords: Brewer's spent grain; Diets; Digestibility; Fibre source; Rabbit.

EXTENDED ABSTRACT

To compare the effect of nature of fibre in total tract apparent digestibility, in productive parameters and development of the rabbit's digestive device, four experimental diets with 50% of the neutral detergent fibre (NDF) from different fibre sources were set up. The fibre sources were: alfafa (AL), not washed brewer's spent grain (DNL), washed brewer's spent grain (DL) and beet pulp (BEET). The diets were distributed by 144 rabbits at 21 days old, 3 x 12 cages per diet. From 28 to 70 days old, 1 x 12 cages per diet remained.

The source of fibre affected intake, growth and feed conversion ratios. Intake was 117, 96, 95 e 83 g day⁻¹, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. Growth was 44, 40, 41 and 35 g day⁻¹, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. Finally, feed conversion ratios (FCR) were 2.70, 2.42, 2.30 and 2.40, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. The results showed that the nature of fibre affects all these parameters in large extent during the trial period.

A significant difference ($P < 0.05$) was verified in the final weight of the BEET fed rabbits (1937 g), at the end of 7 weeks of assay, which is a much inferior value when compared with the other diets. The rabbits in the AL diet showed better intake and inferior FCR. The differences in daily intake verified in the second period with values of 76, 60, 61 and 66 g day⁻¹ for AL, DNL, DL and BEET, respectively, were accentuated in the third period, except between DNL and DL diets, that verified very close values, 114 and 112 g day⁻¹, respectively. These differences are reflected in the total period ($P < 0.0001$). The significant difference ($P < 0.01$) in weight increase between diets was only reflected on the third trial period and in relation to BEET diet that had an inferior daily weight increase (31 g day⁻¹) than AL (45 g day⁻¹), DNL (42 g day⁻¹) and DL (43 g day⁻¹) diets, but it did not present significant differences between each one of them.

The source of fibre affected significantly the coefficients of total tract apparent digestibility (CTTAD) in most analytical fractions, calculated at 8 weeks of age. The CTTAD of DM, OM and energy were inferior ($P < 0.0001$) in AL, while in the other diets the coefficients did not differ significantly between themselves. The CTTAD of DM showed values of 0.642, 0.718, 0.711 and 0.723, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. OM were 0.648, 0.724, 0.717 and 0.728, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. Finally, the CTTAD of energy were 0.646, 0.721, 0.709 and 0.714, in AL, DNL, DL and BEET, respectively. The variation in OM digestibility followed the trend of energy, about 10% lower in AL than in the other diets. The source of fibre did not affect the CP digestibility with CTTAD values around 80 to 85%. The cellular wall components were more digestible in BEET diet than in DL and DNL, and more digestible in DL and DNL than in AL diet. The hemicelluloses digestibility showed the biggest effect of the nature of fibre, with a low value (0.343) in AL diet,

intermediary (0,488 for DNL and 0,495 for DL) in brewer's spent grain diets and raised (0.596) in BEET diet.

The weight of the carcass was affected significantly ($P \leq 0,001$) by the source of fibre. BEET diet gave significantly lighter carcass (1061 g), brewer's spent grain diets intermediate carcass (1257 and 1293 g for DNL and DL, respectively) and AL diet gave heavier carcasses (1406 g).

Expressed as a proportion of liveweight, the weight of the full digestive device, full and empty caeca was highest ($P < 0.0001$) in BEET. However, in absolute terms (g), differences in the weight of the full digestive device between diets do not exist. The source of fibre did not affect the weight of the full or empty stomach. The liver in alfafa and brewer's spent grain diets (96,4, 89,2 and 83,0 g for AL, DNL and DL, respectively) presented 30% heavier than in BEET (61,3 g).

The pH values of the digestive content were affected by the source of fibre ($P < 0.05$). AL diet showed a higher pH value (1.95), brewer's spent grain presented intermediate values of pH (1.77 for DNL and 1.66 for DL) and BEET presented a lower pH value (1.28). The pH value of the caecal contents was also affected by the nature of fibre ($P < 0.05$). AL diet had the lowest pH value (5.75) when compared with the remaining diets (6.00 for DNL, 6.02 for DL and 6.10 for BEET).

The nature of the fibre affected height and width of intestinal villi ($P < 0.05$), as well as the crypt depth ($P = 0.001$), in the first week trial. The villi were shorter in BEET (289.02 μm) than in the other diets (356.19, 356.41 and 361.45 μm for AL, DNL and DL, respectively). Relatively to the villous width, these were wider in AL and BEET diets, 79.58 and 81.24 μm , respectively, and narrower in brewer's spent grain diets (71.80 μm for DNL and 68.82 μm for DL). The crypts were very deep in BEET (92.22 μm), intermediate in AL and DNL (77.97 and 82.63 μm , respectively) and little deep in DL (66.23 μm). The intestinal morphology was not affected by the nature of the fibre in the last 6 weeks of assay, until the 70 days of age.

Keywords: Brewer's spent grain; Diets; Digestibility; Fibre source; Rabbit.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1. A fibra na alimentação animal	3
1.1. Introdução.....	3
1.2. Definição de fibra alimentar	4
1.3. Organização da fibra alimentar na parede celular	5
1.3.1. Lenhinas	6
1.3.2. Celulose.....	7
1.3.3. Hemiceluloses.....	7
1.3.4. Pectinas.....	8
1.3.5. Polissacáridos solúveis em água	8
1.3.6. Outros componentes.....	8
1.5. Propriedades físico-químicas da fibra alimentar.....	9
1.6. Efeitos da fibra.....	10
1.6.1. Efeito da fibra no estômago	11
1.6.2. Efeito da fibra no intestino delgado	11
1.6.3. Efeito da fibra no intestino grosso	11
1.6.4. Interação entre a fibra e o epitélio.....	12
2. As dreches de cervejaria	14
2.1. Introdução.....	14
2.2. Produção de dreches.....	14
2.3. Características das dreches.....	17
2.4. Potenciais aplicações para as dreches	18
3. A fibra na alimentação do coelho	19
3.1. Introdução.....	19
3.2. O desenvolvimento dos compartimentos digestivos no coelho	21
3.3. A Cecotrofia	23
3.4. Nutrição e patologia digestiva do coelho.....	25
3.5. Efeito da fibra sobre a fisiologia da digestão.....	26
3.5.1. Digestibilidade da matéria seca e da matéria orgânica	28
3.5.2. Digestibilidade da energia.....	28
3.5.3. Digestibilidade da fracção proteica.....	29
3.5.4. Digestibilidade das fracções fibrosas do regime	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Composição química das dreches de cervejaria	17
Quadro 2: Níveis de fibra num alimento completo para coelhos em crescimento, de acordo com o método analítico	20
Quadro 3: Comparação da composição química média dos conteúdos cecais e das fezes duras e das fezes moles (em %)	24
Quadro 4: Efeito do teor de NDF sobre a digestibilidade da matéria orgânica em regimes de luzerna como principal fonte de fibra	28
Quadro 5: Ingredientes e composição dos regimes alimentares experimentais (g kg^{-1})	32
Quadro 6: 1º ensaio - Efeito da natureza de fibra na adaptação ao regime, dos 21 aos 28 dias de idade (primeiro período do ensaio).....	37
Quadro 7: 2º ensaio - Efeito da natureza de fibra na quantidade de alimento ingerido e no crescimento, dos 28 aos 70 dias (abate)	40
Quadro 8: Efeito da natureza de fibra nos coeficientes de utilização digestiva aparente (CUD) às 8 semanas de idade	43
Quadro 9: 1º ensaio - Efeito da adaptação ao regime no peso da carcaça, no desenvolvimento dos compartimentos digestivos e no pH do estômago e do ceco aos 28 dias	46
Quadro 10: 1º ensaio - Efeito da adaptação ao regime na morfologia do intestino delgado.	47
Quadro 11: 2º ensaio - Efeito da natureza da fibra no peso da carcaça, no desenvolvimento dos compartimentos digestivos e no pH do estômago e do ceco aos 70 dias	49
Quadro 12: 2º ensaio - Efeito da natureza da fibra na morfologia do intestino delgado	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática de paredes celulares vegetais e os seus constituintes principais	5
Figura 2: Classificação global de fibra alimentar.....	6
Figura 3: Representação esquemática da produção de dreches a partir de grãos de cevada.	16
Figura 4: Representação esquemática do aparelho digestivo do coelho – valores numéricos para um coelho de 2,5 kg	21
Figura 5: Desenvolvimento dos diferentes segmentos do sistema digestivo do coelho da 3 ^a a 11 ^a semana	23
Figura 6: Evolução da quantidade de alimento ingerido ao longo da primeira semana de ensaio	36
Figura 7: Evolução do peso vivo dos coelhos ao longo do período experimental	38
Figura 8: Evolução da quantidade de alimento ingerido ao longo do período experimental	39
Figura 9: Efeito da natureza da fibra nos parâmetros da digestibilidade global dos regimes (valores médios).....	41
Figura 10: Efeito da natureza da fibra na digestibilidade dos constituintes da parede celular (valores médios).....	42
Figura 11: Corte histológico (objectiva 10x) das vilosidades e criptas do intestino delgado dos coelhos alimentados em diferentes dietas na semana de adaptação ao regime alimentar	45

LISTA DE ABREVIATURAS

Ad	Alimento distribuído
ADF.....	Fibra em Detergente Ácido
ADL.....	Lenhina em Detergente Ácido
AGV	Ácidos Gordos Voláteis
AL	Regime com Luzerna
Ap	Aumento de peso diário
AV:PC	Relação Altura de Vilosidade:Profundidade de Cripta
BEET.....	Regime com Polpa de Beterraba
CUDap	Coeficiente de Utilização Digestiva aparente
DL	Regime com Dreches Lavados
DNL.....	Regime com Dreches não Lavados
ED.....	Energia Digestível
FB	Fibra Bruta
IC	Índice de Conversão
ISA	Instituto Superior de Agronomia
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
NDF.....	Fibra em Detergente Neutro
NSP.....	Polissacáridos não amiláceos (non-starch polysaccharides)
PB	Proteína Bruta
PV	Peso Vivo
Qing	Quantidade ingerida de alimento
Qexc.....	Quantidade de fezes excretadas
R	Refugio
TGI.....	Tracto Gastrointestinal
UFC.....	Unidades Formadoras de Colónias

INTRODUÇÃO

Em coelhos, a estratégia utilizada para compensar as elevadas necessidades nutricionais, aliada ao consumo de alimentos fibrosos de baixo valor nutritivo, consiste na alta capacidade de ingestão e rápida taxa de passagem dos digesta, sobretudo da fracção fibrosa (Arruda et al., 2003).

O coelho possui uma capacidade limitada em digerir a fracção mais fibrosa dos alimentos, possuindo coeficientes de digestibilidade aparente em torno de 20 a 30% para a fracção da fibra em detergente ácido (ADF), excepto para aqueles alimentos que possuem menor teor de lenhina na parede celular, como as polpas de citrinos e de beterraba, as quais podem alcançar digestibilidades de 70% (Fortun-Lamothe e Boullier, 2007). No entanto, apesar do escasso valor nutritivo dos alimentos fibrosos, de modo geral, torna-se necessário o suprimento de uma quantidade mínima de fibra alimentar para evitar distúrbios digestivos que podem conduzir a diarreias fatais, especialmente durante a fase de crescimento (Gidenne, 1997; Gidenne et al, 2000).

As diferentes formas de apresentação da dieta, assim como a natureza da fracção fibrosa, podem condicionar o processo digestivo e a eficiência alimentar, visto que a fisiologia digestiva dos coelhos apresenta uma característica evolutiva peculiar em relação às demais espécies não ruminantes (Fraga et al., 1991). São classificados como herbívoros de ceco funcional e praticantes da cecotrofia, cuja dualidade na excreção fecal está associada a um processo de excreção selectiva da fibra mais lenhificada e actividade microbiana simbiótica, utilizando os produtos da fermentação e os próprios corpos bacterianos incorporados aos cecotrofos (Carabaño et al., 1988; Falcão-e-Cunha, 2000).

As observações quanto ao tipo e teor de fibra sobre a incidência de perturbações digestivas fizeram com que os investigadores considerassem no cálculo das rações completas para coelhos, o termo “fibra indigestível”, que consiste na fracção lenhocelulósica do alimento, como a melhor definição para as necessidades destes animais. Inicialmente, foi referida a fibra bruta (FB) como fibra indigestível, sendo indicado um teor de 12 a 14% FB; passando, posteriormente, para um teor de 17 a 21% de ADF, sendo este último o melhor parâmetro para indicação desta necessidade dietética, devido a uma maior precisão a estimar a fracção lenhocelulósica, forte correlação negativa com a concentração energética da dieta e a adequação ao processo selectivo de excreção da fibra rica em lenhina na região do ceco-cólon nesta espécie (Fraga et al., 1991).

As dreches são o maior subproduto da indústria da cerveja, representando mais de 80% do total dos subprodutos gerados (Reinold, 1997 cit. por Mussatto et al., 2006). É um

material lenhocelulósico composto principalmente por celulose, polissacáridos não-celulósicos e lenhina. Pelo seu elevado teor em proteína (cerca de 20%) e fibra tem sido estudada a sua utilização na alimentação animal e humana (Santos et al., 2003).

Deste modo, o objectivo do presente trabalho foi comparar uma fonte de fibra não habitual (dreches de cervejaria) na formulação de regimes para coelhos em crescimento, com outras fontes de fibra de características muito diferentes (luzerna e polpa de beterraba). Para isso, foi estudada a influência da natureza da fibra de diferentes regimes alimentares, na digestibilidade dos vários componentes da dieta, nos parâmetros produtivos e no desenvolvimento do aparelho digestivo. Cada regime apresentava uma fonte de fibra diferente, luzerna, dreches não lavados, dreches lavados e polpa de beterraba.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. A fibra na alimentação animal

1.1. Introdução

A fibra é um substrato energético para os microrganismos do tracto gastrointestinal de animais ruminantes e não ruminantes, e tem sido utilizada para caracterizar alimentos e para estabelecer limites máximos de ingredientes nas rações (Arruda et al., 2003; Van Soest, 1994).

Segundo Van Soest (1994), os glúcidos são os principais constituintes das plantas forrageiras, correspondendo de 50 a 80% da MS das forrageiras e cereais. As características nutritivas dos glúcidos das forragens dependem dos açúcares que os compõem, das ligações entre eles estabelecidas e de outros factores de natureza físico-química. Assim, os glúcidos das plantas podem ser agrupados em duas grandes categorias: em não estruturais e estruturais. Os primeiros incluem os glúcidos encontrados no conteúdo celular, como glicose e frutose, e os glúcidos de reserva das plantas, como o amido, a sacarose e as frutanas (Cummings et al., 1997). De acordo com Van Soest et al. (1991), os glúcidos estruturais incluem os constituintes da parede celular, representados principalmente pela pectina, hemiceluloses e celulose, que são os elementos mais importantes na determinação da qualidade nutritiva das forragens.

Segundo Bianchini et al. (2007) e Mertens (2001), a fibra é um agregado de moléculas, compostas essencialmente por hidrogénio, carbono e oxigénio, como a celulose, as hemiceluloses e a lenhina, entre outras. A sua composição química depende da fonte e do método analítico utilizado na sua determinação. Portanto, o método para a obtenção da fibra deve estar de acordo com os princípios biológicos ou com a sua utilidade empírica (Bianchini et al., 2007).

Em relação à terminologia, a fibra pode ser bruta ou alimentar. A fibra bruta (FB) é o resíduo obtido após o tratamento do alimento vegetal com ácidos e bases fortes. A extracção ácida remove amidos, açúcares e parte das pectinas e hemiceluloses dos alimentos. A extracção básica retira proteínas, pectinas e hemiceluloses remanescentes e parte da lenhina (Mertens, 2001).

A FB consiste principalmente de celulose adicionada de pequenas quantidades de lignina e hemiceluloses. Este método tem como limitação a solubilização de lenhina de forma imprecisa (variável) (Van Soest e McQueen, 1973).

Considera-se, analiticamente, que a fibra alimentar corresponde aos componentes alimentares que permanecem após a degradação por parte de enzimas digestivas (Southgate, 1990).

1.2. Definição de fibra alimentar

A fibra alimentar foi originalmente definida por Trowell (1974), no contexto da medicina humana como “os restos estruturais das células vegetais do alimento, que resistem à hidrólise das enzimas digestivas do homem”. Esta definição excluía os polissacáridos adicionados à dieta como suplementos e a definição foi rectificada para incluir “todos os polissacáridos e lenhina, que não são digeridos pelas secreções endógenas do tracto digestivo humano” (Trowell et al., 1976). Esta definição também é frequentemente utilizada para animais não ruminantes. Neste contexto nutricional, o termo fibra alimentar inclui quaisquer polissacáridos que atingem o intestino, incluindo amido resistente e polissacáridos não amiláceos solúveis e insolúveis (Montagne et al., 2003).

Apesar das pesquisas intensivas ao longo do último quarto do século XX, a definição de fibra alimentar tem sido continuamente debatida sem se ter chegado, ainda, a um acordo universal (Cummings et al., 1997; DeVries et al., 1999). No entanto, actualmente a maior parte dos investigadores utilizam tanto uma definição fisiológica como química. De acordo com a definição fisiológica, a fibra alimentar “corresponde aos componentes do alimento que resistem à degradação por parte das enzimas dos mamíferos”, e quimicamente “é o conjunto dos polissacáridos não amiláceos e lenhina” (Southgate, 1990).

A fibra alimentar deriva principalmente da parede celular vegetal e é, quimicamente, constituída por um agregado de polissacáridos estruturais, além de compostos não glucídicos tais como lenhinas, sílica, ácido gordos, cutina e taninos (McDougall et al., 1996; Selvendran, 1984).

As bases estruturais dos polissacáridos que formam a parede celular são as pentoses arabinose e xilose, as hexoses glucose, galactose e manose, e os ácidos glucurónico e galacturónico, unidades básicas que se combinam dando origem a dois grupos principais, β -glucanos e heteroglucanos, que se encontram normalmente associadas a compostos pécticos (Selvendran, 1984; Theander, 1989). A celulose faz parte do primeiro

grupo e no segundo encontram-se as hemiceluloses e as pectinas, e formam a fracção insolúvel do alimento (Arruda et al., 2003).

O outro componente principal da parede celular vegetal é a lenhina que pode ser descrita como uma rede muito ramificada de unidades de fenilpropano (Iiyama et al., 1994). Segundo Carpita (1996) verifica-se a presença de substâncias amiláceas e glicoproteínas, ainda que em menores proporções, conforme a natureza do material vegetal.

1.3. Organização da fibra alimentar na parede celular

A localização física e química dos polissacáridos no seio da parede celular vegetal tem uma grande influência nas suas propriedades físico-químicas e, consequentemente, na acção no tracto gastrointestinal (Carpita e Gibeau, 1993; McDougall et al., 1996).

A parede celular vegetal encontra-se organizada fisicamente em três partes estruturais básicas (Figura 1): a lamela média que forma uma parede exterior ao tecido vegetal (pectinas), a parede primária formada por uma matriz amorfa de hemiceluloses e compostos pécticos onde se dispersam as celulosas, e a parede secundária constituída por celulose, hemiceluloses e lenhina, de forma mais organizada (Gidenne, 2003).

Com o desenvolvimento e maturação da planta, observa-se um processo de lenhificação que resulta no espessamento da parede secundária e confere uma certa resistência à degradação microbiana (Gidenne, 2003).

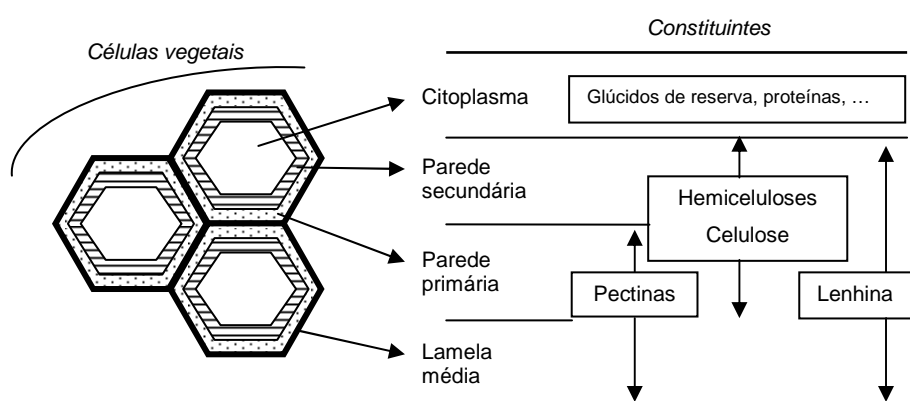


Figura 1
Representação esquemática de paredes celulares vegetais e os seus constituintes principais (Gidenne, 2003)

Classificam-se normalmente cinco tipos de polímeros celulares, de acordo com a sua estrutura química e as suas propriedades (Figura 2): quatro tipos de polímeros insolúveis em água (lenhina, celulose, hemiceluloses e compostos pécnicos ou pectinas), e um grupo de polissacáridos e oligossacáridos não amiláceos, solúveis em água (Gidenne, 1996).

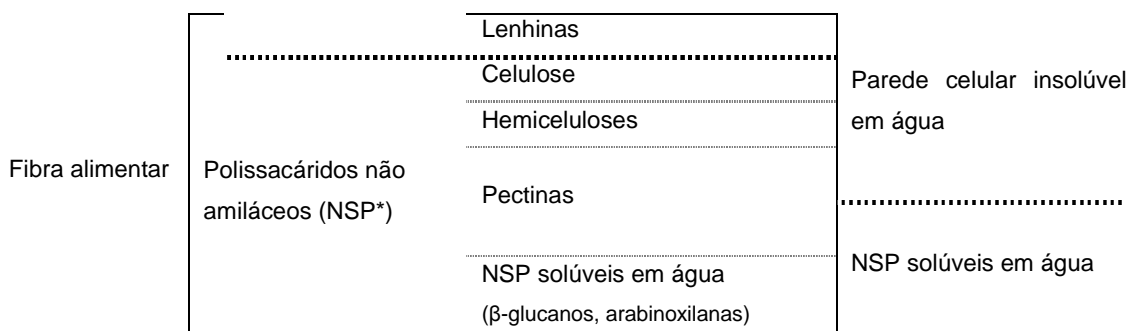


Figura 2

Classificação global de fibra alimentar (Gidenne, 1996).

*Non-Starch Polysaccharides

1.3.1. Lenhinas

As lenhinas são os únicos polímeros não sacáridos da parede celular. Podem ser descritas como redes tridimensionais muito ramificadas e complexas e de elevado peso molecular, constituídas por polímeros condensados de diferentes álcoois fenilpropanóides (p-cumárico, coniferílico e sinapílico), e ácido ferúlico, unidos por ligações de tipo éter, ligações covalentes entre os núcleos benzénicos ou aliados aos radicais propano (Arruda, 2003; Gidenne, 2003). A proporção destes componentes é irregular entre as plantas, e estão presentes em maior proporção na parede celular secundária, cuja principal função é de suporte estrutural e de resistência física às plantas. Na parede celular, a lenhina encontra-se em parte ligada a polissacáridos não celulósicos e tem duas funções principais: fixa a celulose e outros polissacáridos da matriz e previne a degradação bioquímica e física da parede celular (Iiyama et al., 1994).

Segundo Van Soest (1967), a maior parte dos alimentos concentrados e das forragens jovens contém pequenas quantidades de lenhina, que tende a aumentar em função do estado de maturação das plantas e do ambiente em que se desenvolvem. Subprodutos agrícolas que incluem talos, cascas e palhas, podem ter também teor elevado de lenhina.

1.3.2. Celulose

A celulose é o polissacárido estrutural mais abundante da natureza e predominante na parede celular vegetal. É um homopolissacárido de alto peso molecular, de cadeia linear e de elevado grau de polimerização das unidades D-glicose unidas por ligações do tipo β -1,4 e β -1,6 (Van Soest, 1994). Assim, possuem uma configuração alongada e agregam-se lado a lado formando microfibras insolúveis unidas por pontes de hidrogénio, impregnadas por uma matriz de propriedades cimentantes que formam uma rede cristalina. Está geralmente associada à lenhina e apresenta-se insolúvel em meio alcalino, mas solúvel em meio ácido (Arruda et al., 2003; Gidene, 2003).

A relação lenhina/celulose determina a intensidade da degradação microbiana da parede celular, igualmente condicionada pela presença de substâncias como a sílica e a cutina, além de factores intrínsecos à própria celulose, como a cristalinidade e especificidade das suas ligações químicas, tanto em animais ruminantes como em não ruminantes (Brett e Waldron, 1996).

1.3.3. Hemiceluloses

As hemiceluloses são polissacáridos de estrutura complexa e heterogénea, mas com um grau de polimerização inferior ao da celulose (Gidenne, 2003). As hemiceluloses podem ser classificadas em pentosanas ou hexanas. As primeiras são constituídas por polímeros de D-xilose unidos por ligações β -1,4 com cadeias laterais curtas de arabinose, ácido glucurónico, galactose e glicose (xilanas e arabinoxilanas); ou com resíduos de galactose cujas cadeias laterais são formadas por arabinose (arabinogalactanos) (Selvendran, 1984). Enquanto hexanas, as hemiceluloses contêm glicose e manose unidas por ligações β -1,4 (glucomananas, galactanas e galactomananas), polímeros compostos de resíduos de glicose unidos por ligações β -1,3 e β -1,4 (β -glucanos), que se diferenciam da celulose pela solubilidade em meio alcalino, e os polímeros compostos por unidades de glicopirranose unidas por ligações β -1,4 com cadeias laterais de xilanopirranose (xiloglicanas) (Brett e Waldron, 1996). As arabinoxilanas são as hemiceluloses predominantes nas sementes de cereais, e as xiloglicanas predominam na parede primária das plantas dicotiledóneas (vegetais e sementes) (Gidenne, 2003). As arabinoxilanas dos cereais constituem um factor importante na heterogeneidade estrutural (Izydorczyk e Biliaderris, 1995), e propriedades físico-químicas como a viscosidade, que conduzem a uma acção nutricional específica no tracto digestivo (Gidenne, 2003).

1.3.4. *Pectinas*

As pectinas são polímeros do ácido 1,4- β -D-galacturónico que estão presentes principalmente na lamela média e na parede primária da célula vegetal, actuando como elemento de agregação entre membranas. A cadeia helicoidal de ácidos galacturónicos está associada lateralmente com arabinoxilanas e galactomananas (Carpita, 1996). As pectinas não são atacadas pelas amilases, porém, são susceptíveis à acção microbiana e facilmente fermentescíveis (Van Soest, 1994).

As pectinas são mais abundante em leguminosas do que em gramíneas, e estão presentes em concentrações significativas em certos subprodutos ou resíduos agro-industriais como as polpas de citrinos e de beterraba (Marry et al., 2000).

1.3.5. *Polissacáridos solúveis em água*

Os polissacáridos solúveis em água podem ter vários graus de polimerização, desde cerca de 15 até mais de 2000 (β -glucanos). Encontram-se geralmente em níveis reduzidos nos ingredientes para alimentação animal, por exemplo, hemiceluloses solúveis como arabinoxilanas (no trigo, aveia ou cevada aproximadamente 2 a 4 % de MS) e β -glucanos (na cevada ou aveia cerca de 1 a 3% de MS) e compostos pécticos solúveis (nas polpas de frutos ou beterrabas, até 10% de MS) (Gidenne, 2003).

1.3.6. *Outros componentes*

Outros componentes como a sílica, as cutinas e os taninos estão presentes na parede celular, associados ou não a polissacáridos estruturais. Mesmo presentes em pequenas quantidades, estes compostos possuem importantes características físico-químicas que influenciam os processos de digestão e absorção dos componentes da parede celular e do conteúdo celular (Van Soest, 1994). Também existem proteínas que são encontradas na fibra dos alimentos. Estas dividem-se em três grandes grupos: as extensinas (função estrutural), as ricas em glicinas (associadas à lenhificação) e ainda, as proteínas ricas em prolina (actuates na formação dos nódulos radiculares das leguminosas). Parte dessas proteínas são solubilizadas na determinação da fibra, outra permanece como constituinte da mesma (Carpita e Gibeau, 1993).

A composição da parede celular varia muito entre os diferentes tecidos da planta (Carpita e Gibeau, 1993; McDougall et al., 1996). Enquanto a natureza da celulose varia pouco entre plantas, a composição da matriz amorfa apresenta normalmente uma variação considerável entre tecidos da mesma planta e entre diferentes plantas (McDougall et al., 1996). Nos cereais, plantas monocotiledóneas, os principais NSP da parede celular dos grãos são arabinoxilanas, celulose e β -glucanos, com algumas diferenças entre cereais. Enquanto os cereais são virtualmente livres de compostos pécnicos, as plantas dicotiledóneas contêm polissacáridos pécnicos em níveis elevados (Selvendran, 1984). Além disso, a composição da parede celular vegetal não depende apenas das espécies das plantas em questão, mas também do tipo de tecido e da maturidade da planta na altura de colheita (Knudsen, 2001).

1.4. Propriedades físico-químicas da fibra alimentar

As propriedades físico-químicas da fibra vegetal condicionam os efeitos fisiológicos no animal, especialmente a velocidade do trânsito digestivo das dietas, a absorção dos minerais, a adsorção de sais biliares e o metabolismo dos lípidos. De acordo com McDougall et al. (1996) as propriedades físico-químicas estão relacionadas com o tipo de polímeros que formam a parede e a sua associação intermolecular, a capacidade de absorver água, a capacidade de troca catiónica e a adsorção de substâncias a partir do digesta, são amplamente variáveis em função da composição da parede celular. Assim, a cristalinidade, a capacidade de hidratação e o grau de lenhificação influenciam estas propriedades, determinando a extensão da fermentação microbiana simbiótica dos animais (Arruda et al., 2003).

A capacidade higroscópica ou de retenção de água da fibra está particularmente relacionada com o seu conteúdo de hemiceluloses, pectinas e lenhinas, as quais podem alterar o volume e peso das fezes, assim como o grau de viscosidade e a sua relação com o trânsito do digesta. Esta capacidade de retenção de água pode influenciar a digestão e absorção de outros nutrientes da dieta, sendo geralmente verificado um efeito negativo pelo aumento da massa digestiva, diminuindo a retenção no tracto gastrointestinal (TGI) e impedindo a acção completa das enzimas digestivas. Assim, Knudsen (2001) afirma que a fibra dos cereais tende a ter uma menor capacidade de retenção de água do que a fibra de alimentos ricos em pectinas. Os compostos pécnicos são os que mais alteram a viscosidade do digesta, mas como a sua degradação tende a ser quase completa pela microflora, ocorre a libertação das substâncias complexadas à parede celular contribuindo para um trânsito

mais lento e maior actividade fermentativa na região ceco-cólon de herbívoros não ruminantes (Van Soest, 1994).

A lenhina, influencia negativamente a extensão da actividade fermentativa ligando-se aos polissacáridos através de ligações covalentes, impedindo que as enzimas dos microrganismos actuem nos polissacáridos. Além disso, possui uma forte capacidade de ligação iónica com elementos minerais fazendo com que as dietas ricas em fibra interfiram negativamente na absorção de minerais (Arruda et al., 2003). No entanto, isto tem sido amplamente questionado na nutrição de não ruminantes como o coelho.

Os componentes da parede vegetal e os produtos de secreção endógena, incluindo enzimas e mucopolissacáridos, constituem os digesta que chegam ao intestino grosso exercendo uma forte influência sobre a massa bacteriana e a sua actividade enzimática. A fermentação dos componentes da fibra pode dar lugar à produção de CO₂, hidrogénio, metano e ácidos gordos de cadeia curta (Arruda et al., 2003).

1.5. Efeitos da fibra

As fibras alteram as funções do TGI através das suas fracções digestível e indigestível. Enquanto as fibras indigestíveis, actuando principalmente no intestino grosso, aceleram o trânsito intestinal e aumentam o volume fecal, as digestíveis atrasam o trânsito gástrico e diminuem a acção enzimática digestiva, conduzindo, em ambos os casos, a um aumento da proporção de energia a ser digerida no intestino grosso, em suínos (Jorgensen et al., 1996; Just et al., 1983). Consequentemente, existe uma menor quantidade de energia absorvida como monossacáridos e mais energia fornecida sob a forma de ácidos gordos de cadeia curta e ácido láctico. A contribuição energética fornecida sob a forma de ácidos gordos de cadeia curta é menor do que sob a forma de monossacáridos (Jorgensen et al., 1996).

O tamanho da partícula da fibra também contribui para a diversidade dos efeitos fisiológicos causados por este componente alimentar, uma vez que fibras indigestíveis grosseiramente moídas são mais eficazes em estimular a excreção do que as constituídas por partículas finas (Gidenne, 1992). Assim sendo, pode haver uma diferença no tempo de retenção dos digesta de acordo com o tamanho da partícula da fibra. De acordo com a pesquisa realizada por Lebas e Laplace (1977) em coelhos, utilizando dois tipos de granulometria: uma fina (< 1 mm) e outra grossa (> 4 mm), observaram um maior tempo de retenção para a granulometria mais fina e este aumento melhorou a digestibilidade da dieta; porém, a incidência dos transtornos digestivos aumentou, elevando o índice de mortalidade.

1.5.1. Efeito da fibra no estômago

O efeito da fibra na taxa de esvaziamento gástrico tem sido estudado nos suínos, em particular, porque uma baixa taxa de esvaziamento pode limitar o seu crescimento. Vários estudos revelam diferenças nos conteúdos gástricos causadas pelo teor e pela natureza da fibra. No estudo de Johansen et al. (1996) em porcos, onde foram utilizadas dietas com diferentes quantidades de fibra digestível (β -glucanos) de trigo e de aveia, verificou-se um aumento significativo na viscosidade e capacidade de retenção de água dos conteúdos gástricos em resposta ao aumento do teor de fibra digestível.

Embora o elevado teor de fibra digestível no regime influencie o comportamento dos conteúdos gástricos, os seus efeitos têm sido contraditórios e por vezes difíceis de interpretar nos diversos estudos concretizados (Knudsen, 2001).

1.5.2. Efeito da fibra no intestino delgado

Tem sido admitido que a fibra influencia a absorção de nutrientes no intestino delgado através do seu efeito na viscosidade do lúmen, que poderá reduzir a taxa de absorção de nutrientes. Nos estudos onde foram utilizadas fontes de fibra como o trigo e a aveia na alimentação de suínos, não foi possível demonstrar nenhum efeito significativo da fibra digestível na absorção da glucose em partes isoladas do jejuno (Johansen e Knudsen, 1994a,b). A falta de efeito da fibra digestível na taxa de absorção da glucose quando ingerida como parte integrante da estrutura da parede celular é, presumivelmente, devido à baixa solubilização dos polissacáridos da parede celular (Knudsen, 2001).

Os efeitos das diferentes fontes de fibra na digestibilidade dos nutrientes no final do intestino delgado têm sido investigados em vários estudos. A fibra alimentar, de maneira geral, reduz a digestibilidade da matéria seca e da energia neste local do TGI devido à sua resistência à digestão pelas enzimas segregadas no intestino delgado (Knudsen e Hansen, 1991; Knudsen et al., 1993; Graham et al., 1986).

1.5.3. Efeito da fibra no intestino grosso

A diferença mais significativa entre o intestino delgado e o intestino grosso em suínos é o tipo de digestão e o tempo de retenção (Knudsen, 2001). O trânsito dos digesta é mais lento no intestino grosso (geralmente 20-40 h) do que no estômago ou intestino delgado

(geralmente de 2 a 16 h). Estas condições permitem que a flora bacteriana prolifere (Moore et al., 1987), haja produção de ácidos gordos de cadeia curta (Giusi-Perier et al., 1989) e de gases (Jensen e Jorgensen, 1994).

A produção de ácidos gordos voláteis a partir da fermentação dos resíduos que escaparam do processo digestivo no estômago e intestino delgado, ocorre no intestino grosso pela flora microbiana em herbívoros não ruminantes, constituindo uma importante contribuição ao metabolismo energético (Arruda et al., 2003; Sakagushi et al., 1987). Alguns trabalhos (Slade e Hintz, 1969; Udén et al., 1982) têm demonstrado uma correlação negativa entre o trânsito do digesta através do TGI e a digestibilidade da fibra em animais não ruminantes. O tempo de retenção do digesta no intestino grosso é um factor importante que afecta a digestibilidade da fibra em animais não ruminantes, pois é reconhecido que a digestibilidade da fibra está estreitamente relacionada com o tempo de retenção do digesta no rúmen, em animais ruminantes (Van Soest, 1994).

Quaisquer glúcidos, proteínas e material endógeno são potenciais substratos para a fermentação no intestino grosso. Os glúcidos representam a maior fracção da parte sólida que passa do intestino delgado para o intestino grosso, e são digeridos no ceco e cólon proximal (Knudsen et al., 1993; Glitso et al., 1998). O tempo médio de retenção no ceco em suínos é de 1 a 3 horas, e os NSP degradados durante este tempo são os NSP solúveis: β -glucanos, pectinas, arabinoxilanas (Knudsen et al., 1993; Glitso et al., 1998). A rápida digestão dos β -glucanos deve-se ao seu baixo grau de polimerização que os torna mais acessíveis à acção da microflora do intestino grosso (Johansen et al., 1997). O tempo médio de retenção de marcadores de fase sólida (fibra associada a crómio) oscila de 7 a 16 horas no ceco do coelho (Gidenne e Jehl, 1996).

Outros polissacáridos da parede celular, embora não solúveis, podem ser degradados durante a sua passagem pelo intestino grosso, como por exemplo, as xilanas. Por outro lado, a celulose, arabinoxilanas e xilanas, quando presentes em tecidos lenhosos, são mais resistentes à degradação no intestino grosso (Glitso et al., 1999).

1.5.4. Interação entre a fibra e o epitélio

Muitos autores têm estudado o efeito da fibra na anatomia do aparelho digestivo e no seu desenvolvimento e funcionamento. De forma geral, a ingestão de fibra conduz a um aumento de tamanho e comprimento dos órgãos digestivos, incluindo o intestino delgado, ceco e o cólon de porcos (Jin et al., 1994; Jorgensen et al., 1996), galinhas (Iji et al., 2001) e, presumivelmente, em outros animais não ruminantes. Estes efeitos estão frequentemente associados a modificações da morfologia do epitélio e, conseqüentemente, afectam a

absorção de nutrientes (Montagne et al., 2003). A natureza e o teor de fibra influenciam a morfologia da mucosa intestinal, alterando a altura das vilosidades, profundidade das criptas e o número de células epiteliais (Jin et al., 1994).

O efeito da fibra na morfologia do aparelho digestivo é variável e depende das características físico-químicas da fibra, do teor de incorporação no regime, do tempo de duração da ingestão, da espécie e idade do animal e da parte do tracto intestinal que está a ser estudada. Arruda et al. (2008), ao estudar a mucosa intestinal de coelhos, verificaram que a natureza da fibra das dietas apresentou um efeito significativo relativamente à altura das vilosidades, profundidade das criptas e relação altura de vilosidade:profundidade de cripta (AV:PC). Neste trabalho, constataram que a dieta à base de casca de soja apresentou valores superiores na altura das vilosidades em relação àqueles obtidos com o feno de luzerna; a dieta com feno de luzerna apresentou os valores superiores de profundidade das criptas em relação àqueles obtidos com a casca de soja; e na relação AV:PC, verificaram que a dieta com casca de soja apresentou valores médios superiores em relação àqueles obtidos com o feno de luzerna. As possíveis inferências, quanto ao tipo de fibra, podem estar relacionadas inicialmente com a eficiência alimentar e posteriormente com a incidência de transtornos digestivos, sugerindo a consideração do fraccionamento da “fibra indigestível” como a melhor caracterização dietética para as necessidades de fibra fisicamente efectiva para estes animais.

A relação desejável entre vilosidades e criptas intestinais ocorre quando as vilosidades se apresentam altas e as criptas rasas, pois quanto maior a relação altura de vilosidade:profundidade de cripta, melhor será a absorção de nutrientes e menores serão as perdas energéticas com a renovação celular (Li, 1991).

Também tem sido demonstrado o aumento da proliferação de células epiteliais nas glândulas do cólon em humanos alimentados em regimes à base de aveia (Malkki e Virtanen, 2001). Alguns autores têm demonstrado que a ingestão de pectinas (25 g pectinas/kg durante 14 dias) aumenta significativamente a alturas das vilosidades e a profundidade das criptas em ratos (Andoh et al., 1999).

Por outro lado, vários autores têm observado pouco ou nenhum efeito visível na morfologia do intestino delgado e do intestino grosso em resposta à alimentação com dietas com elevado teor de fibra quando comparado com teores mais baixos de fibra fermentescível, tanto em porcos como em ratos (Anugwa et al., 1989; Calvert et al., 1985; Glitsso et al., 1998).

2. As dreches de cervejaria

2.1. Introdução

Muitos dos cereais que conhecemos podem ser utilizados para produção de malte. No entanto, a cevada (*Hordeum vulgare* L.), da família Gramineae, é o cereal que apresenta menos problemas ao nível tecnológico (Briggs et al., 1982; Hough, 1991). O milho é raramente utilizado pois o seu extracto gordo torna-se rançoso. O trigo sofre maltagem à escala comercial, particularmente para a produção de certos tipos de pão especiais, mas a propagação microbiana na superfície do grão durante a germinação pode causar problemas (Hough, 1991). Para a produção de cervejas nativas africanas são utilizadas diversas variedade de cereais, especialmente o sorgo. No entanto, é o sabor da cerveja feita com malte de cevada que tem sido apreciada ao longo do tempo em todo o mundo (Briggs et al., 1982).

Durante a utilização da cevada para a preparação de cerveja e bebidas espirituosas, como whisky, são produzidas grandes quantidades de resíduos, entre os quais se encontram as dreches (Jay et al., 2007; Santos et al., 2003).

Segundo Fernandez et al. (2008) as dreches são o subproduto de cervejaria mais abundante, correspondendo a cerca de 85% do total de subprodutos desta indústria. As dreches representam aproximadamente 20 kg por 100 l de cerveja produzida (Reinold, 1997 cit. por Mussatto e Roberto, 2006), estão disponíveis a baixo custo ao longo de todo o ano e são produzidas em grandes quantidades não só por grandes, mas também por pequenas cervejarias (Mussatto et al., 2006).

Além da sua utilização em nutrição animal e humana (Kissel e Prentice, 1979), têm sido investigadas outras aplicações para as dreches tais como, produção de energia, quer por combustão directa, quer por fermentação para produção de biogás, como material de construção ou matéria-prima na manufactura de papel devido ao seu elevado teor de fibra, como adsorvente de metais pesados ou ainda como substrato para cultura de microrganismos ou produção de enzimas (Mussatto et al., 2006).

2.2. Produção de dreches

A cevada é um dos cereais mais importantes, depois do trigo, do milho e do arroz, e é principalmente utilizado para alimentação animal ou como matéria-prima na produção de cerveja (Kendal, 1994). O grão de cevada é rico em amido e proteínas e consiste em três

partes principais: o embrião, o endosperma (composto pela camada de aleurona e amido) e a casca (Fastnaught, 2001; Hough, 1991). A celulose é o principal constituinte da casca e as arabinoxilanas e β -glucanos são os componentes predominantes do aleurona e do endosperma rico em amido, respectivamente (Fastnaught, 2001).

Na preparação da cerveja, os grãos de cevada são limpos e separados de acordo com o tamanho. Após um período de dormência de 4 a 6 semanas, a cevada é transformada em malte num processo de germinação controlado, que serve para aumentar o conteúdo enzimático do grão (Mussatto et al., 2006). De acordo com McDonald et al. (2002), a maltagem pretende transformar a maior quantidade possível de amido em amido solúvel através da acção de diastases (enzimas) que convertem amido em maltose, e é executada em três passos: imersão, germinação e secagem.

Durante a imersão, os grãos de cevada são colocados em tanques com água durante 1 a 2 dias com fornecimento de oxigénio e a uma temperatura de cerca de 15 °C. No início da imersão o teor de humidade aumenta rapidamente, mas depois diminui progressivamente até estabilizar (Hough, 1991). Esta etapa tem como objectivo a absorção de água por parte do grão até atingir um teor de humidade de 45 a 50%. A água é periodicamente removida e adicionada água fria (Mussatto et al., 2006).

Depois da imersão, a cevada passa para uma câmara de germinação onde é mantida em contacto com ar húmido a uma temperatura de 15 a 21 °C. O teor de humidade dos grãos é cerca de 42% na maior parte dos casos e, durante a germinação, mantém-se neste valor. A germinação promove a emergência da radícula e a activação de enzimas, incluindo amilases, proteases, β -glucanases e outras, que iniciam o processo de degradação do amido (Mussatto et al., 2006). Segundo Hough (1991), ao fim de 5 a 6 dias de germinação, o malte é seco para travar o desenvolvimento do embrião e desidratado a 40-60 °C até atingir uma humidade de 4 a 5%, de maneira a evitar contaminação por microrganismos, além de conferir cor e aroma. Após esta fase, o malte seco é armazenado durante 3 a 4 semanas até atingir uma certa homogeneidade (Kendal, 1994).

Na sala de brassagem, o malte é esmagado e enquanto é misturado com água podem ser adicionadas pequenas quantidades de outros cereais como milho ou arroz. Nesta fase, a temperatura é elevada de 37 para 78 °C para promover hidrólise enzimática dos constituintes do malte, amido, proteínas, β -glucanos e arabinoxilanas (McDonald et al., 2002; Mussatto et al., 2006). Durante este processo, o amido é convertido em açúcares fermentescíveis (maioritariamente maltose e maltotriose) e açúcares não fermentescíveis (dextrinas), e as proteínas são parcialmente degradadas em polipéptidos e aminoácidos (Hough, 1991). Ao fim de cerca de 3 horas, a fracção sólida é separada no filtro e o mosto (fracção líquida) é enviado para a caldeira de fervura, sendo então utilizado para a produção de cerveja. A fracção sólida residual é conhecida como dreches (McDonald et al., 2002).

A Figura 3 é uma representação esquemática do processo que resulta na produção de dreches a partir de grãos de cevada.

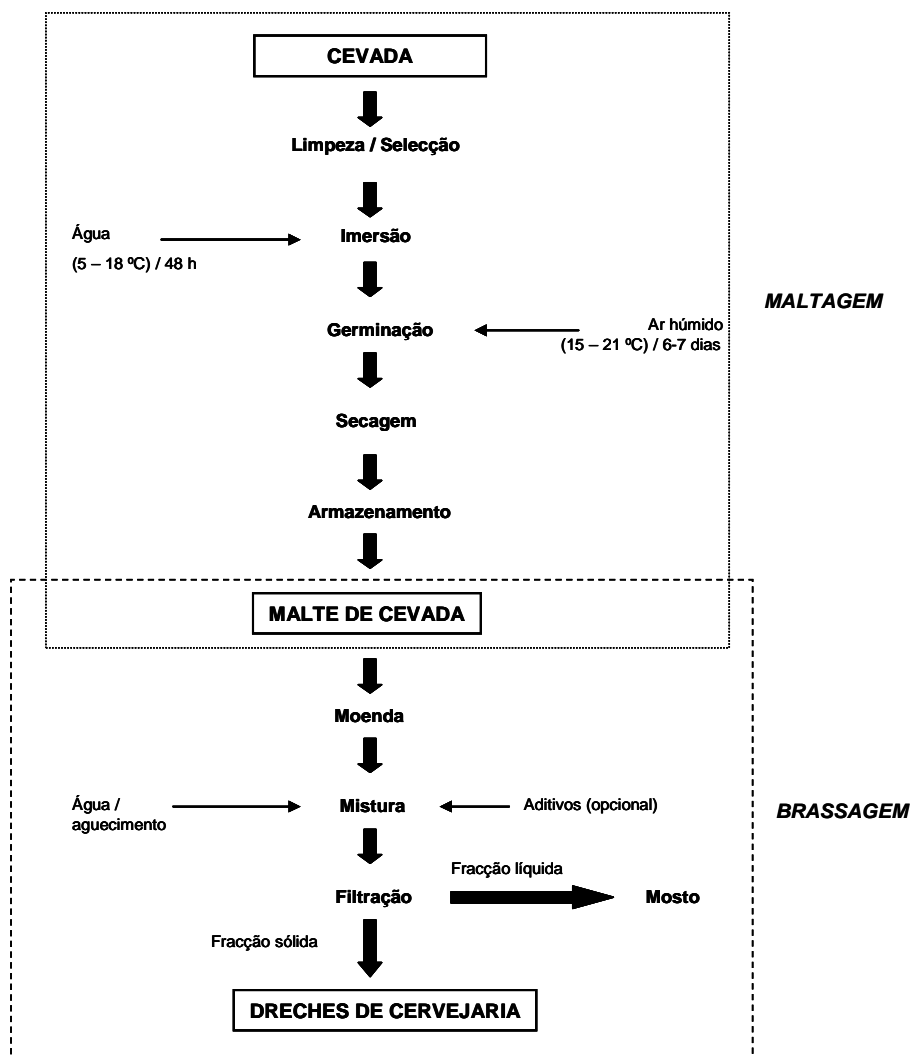


Figura 3

Representação esquemática da produção de dreches a partir de grãos de cevada (adaptado de Mussatto et al., 2006).

O processo de brassagem é selectivo, removendo do malte apenas os nutrientes necessários para a produção do mosto, ficando como resíduo as proteínas insolúveis e as paredes celulares residuais da casca e das camadas interiores que protegem a semente. Dependendo do tipo de cerveja produzida, as dreches podem ser constituídas apenas pelos resíduos do malte de cevada ou podem apresentar resíduos de aditivos como trigo, milho ou arroz que tenham sido adicionados durante a mistura (Reinold, 1997 cit. por Mussatto et al., 2006).

2.3. Características das dreches

As dreches são constituídas basicamente pelas camadas que formavam a casca do grão da cevada. Por esta razão, a sua composição pode variar de acordo com a cultivar da cevada, época de colheita, com as condições da maltagem e de brassagem, e com a qualidade e tipo de aditivos usados no processo de brassagem (Huige, 1994; Santos et al., 2003). Como a casca do grão de cevada é um material rico em celulose e lenhina, as dreches contêm provavelmente açúcares polimerizados de celulose (glucose) e hemiceluloses (xilose e arabinose), os quais podem ser libertados através de hidrólise (Mussatto e Roberto, 2006).

Dependendo se o malte é mais ou menos aglutinado, as paredes da camada de aleurona e de endosperma podem também fazer parte do resíduo. O teor em amido é reduzido, e poderão existir resíduos de lúpulo introduzido durante a mistura dependendo do processo utilizado na produção da cerveja. Desta forma, os principais componentes das dreches são as paredes da casca, ricas em celulose, polissacáridos não-celulósicos e lenhina; podem conter algum teor de proteína e lípidos, e estão apresentados no Quadro 1. A casca também contém quantidades consideráveis de sílica e a maior parte dos componentes polifenólicos do grão de cevada (Macleod, 1979 cit. Mussatto et al., 2006).

Quadro 1

Composição química das dreches de cervejaria (adaptado de Mussatto et al., 2006)

Componentes (% resíduo seco)	Dreches ^a	Dreches ^b	Dreches ^c
Celulose	9.1	17.0	16.8
Arabinoxilanas	19.0	39.0	28.4
Lenhina	16.0	4.0	27.8
Proteína	31.0	24.0	15.2
Lípidos	9.6	6.0	Nd
Cinza	4.3	Nd	4.6

^a De Prentice e Refsguard (1978)

^b De Bartolomé e Gómez-Cordovés (1999)

^c De Mussato e Roberto (2005)

De uma maneira geral, as dreches são consideradas como sendo um material lenhocelulósico rico em proteína e fibra, que correspondem a cerca de 20 e 70% da sua composição, respectivamente (Mussatto et al., 2006). A proteína e a fibra são altamente

concentradas neste subproduto pois a maior parte do amido presente no grão de cevada foi removido durante a mistura, no processo de brassagem (Kissel e Prentice, 1979).

Fazem também parte da sua constituição minerais, vitaminas e aminoácidos. Os elementos minerais incluem cálcio, cobalto, cobre, ferro, magnésio, manganésio, fósforo, potássio, selénio, sódio e enxofre, todos em concentrações abaixo de 0,5%. As vitaminas incluem (ppm): biotina (0.1), colina (1800), ácido fólico (0.2), niacina (44), ácido pantoténico (8.5), riboflavina (1.5), tiamina (0.7) e piridoxina (0.7). Os aminoácidos leucina, valina, alanina, serina, glicina, ácido glutâmico e ácido aspártico estão presentes em maiores quantidades, enquanto que os aminoácidos tirosina, treonina, arginina e lisina aparecem em menores quantidades (Huige, 1994).

2.4. Potenciais aplicações para as dreches

Até à actualidade, este subproduto tem sido utilizado principalmente como alimento animal (maioritariamente em ruminantes), devido ao seu elevado teor em proteína e fibra (Hough, 1991; Huige, 1994). De acordo com Huige (1994) as dreches são um óptimo ingrediente para ruminantes visto que se podem combinar com fontes de azoto não dispendiosas, como a ureia. Além do seu elevado valor nutricional, as dreches promovem a produção de leite sem afectar a fertilidade do animal (Sawadogo et al., 1989).

O mercado principal para a utilização das dreches é a alimentação de ruminantes, mas pelo seu teor em proteína, fibra e energia tem sido também estudada a sua utilização em alimentação de outros animais como suínos, peixes e galinhas (Mussato et al., 2006). Kaur e Saxena (2004) avaliaram a substituição de fibra de arroz por dreches na dieta de peixes, e observaram que os peixes alimentados à base de fibra de arroz com 30% de dreches apresentaram um aumento de peso superior aos peixes alimentados apenas à base de fibra de arroz.

Devido ao seu elevado teor em humidade e açúcares fermentescíveis, as dreches tornam-se um problema ambiental ao fim de pouco tempo (7 a 10 dias). Como tal, o seu uso como alimento animal melhora significativamente se o material for seco, além de reduzir o volume do produto que, consequentemente, diminui os custos de transporte e armazenamento. Este resíduo deve ser transportado para os produtores de animais nesse período de tempo (El-Shafey et al., 2004).

As dreches apresentam um grande potencial para serem recicladas e utilizadas na cadeia alimentar, em produtos como aditivos alimentares de elevado valor e alimentos compostos. A incorporação das dreches de cerveja a produtos alimentares como fonte de fibra tem sido referido em diversos trabalhos (Öztürk et al., 2002; Prentice e d'Appolonia,

1977) e tem sido sugerido um papel preventivo no aparecimento de certas doenças (Zhang et al., 1991). Este facto reflecte-se nas várias publicações tanto pela incorporação em pão de farinha de mistura (Kawka et al., 1999; Prentice e d'Appolonia, 1977), bolachas (Kissell and Prentice, 1979; Öztürk et al., 2002; Prentice et al., 1978) e alimento para animais (Batajoo e Shaver, 1994). Devido ao seu relativo baixo custo e potencial valor nutritivo, as dreches têm sido consideradas como um atractivo aditivo para alimentação humana (Santos et al., 2003).

Foi possível incorporar com sucesso uma farinha com elevado teor de fibra a partir das dreches de cerveja, em vários produtos de padaria como pães, queques, bolachas, misturas de cereais, bolos, snacks, donuts e biscoitos (Huige, 1994). No entanto, existem algumas limitações na utilização desta farinha devido à sua cor e sabor. A farinha de dreches apresenta uma cor acastanhada quando húmida e, por isso, pode ser incorporada apenas nos alimentos não necessariamente brancos, como bolachas, bolos ou pães de cereais. Além disso, devido a alterações de sabor e propriedades físicas (por exemplo, a textura), a farinha apenas pode ser incorporada em pequena quantidade (5-10%) (Öztürk et al., 2002; Prentice e d'Appolonia, 1977).

A ingestão de dreches, ou produtos derivados, apresenta benefícios para a saúde, os quais estão associados com o aumento do peso fecal, a redução do tempo de trânsito digestivo e a diminuição de colesterol e gordura (Fastnaught, 2001).

3. A fibra na alimentação do coelho

3.1. Introdução

O coelho é um animal monogástrico, herbívoro de ceco funcional, cujo sistema digestivo está adaptado à ingestão de alimentos ricos em fibra (Gidenne, 1996). As características da sua fisiologia digestiva, em particular a rápida evacuação das partículas de maiores dimensões, menos digestíveis, e a retenção das mais pequenas e de maior digestibilidade, permitem-lhe tirar partido dos alimentos disponíveis no seu habitat natural, a orla mediterrânica (Carabaño et al., 1988; Falcão-e-Cunha, 2000). Desta forma, a fibra é um componente importante da alimentação do coelho, mesmo em produção intensiva, e dependendo da fracção analítica considerada varia de 15 a 50% (Quadro 2) (Gidenne, 2003). A utilização dos componentes das paredes celulares dos alimentos é conseguida pela acção fermentativa de uma flora microbiana localizada fundamentalmente no ceco, cólon proximal e íleo terminal, e compatível com o rápido trânsito digestivo característico do coelho (Canzi et al., 2000; Falcão-e-Cunha, 2000).

Quadro 2

Níveis de fibra num alimento completo para coelhos em crescimento, de acordo com o método analítico (adaptado de Gidenne, 2003)

	% MS
Análise residual	
Fibra Bruta	14-18
Fibra detergente ácido (ADF)	16-21
Fibra detergente neutro (NDF)	27-42
Fibra alimentar total*	32-51
Outros constituintes	
Amido	10-20
Proteína Bruta	13-18

* calculado quimicamente

É fundamental um teor mínimo de fibra no regime destes animais, embora de baixa utilização, para permitir um normal processo digestivo e controlar as perturbações digestivas que se manifestam geralmente por diarreia, particularmente no período pós-desmame (Falcão-e-Cunha, 2000; Laplace, 1978). As patologias digestivas em coelhos são responsáveis por cerca de 60% do total de mortalidade no período de engorda (Whitney et al., 1976) e de reduções importantes na eficácia da utilização do alimento e no crescimento dos animais que não chegam a morrer (Carabaño et al., 2002).

O papel favorável da fibra pouco digestível (lenhina e celulose) na saúde digestiva do coelho já foi estudado por diversos autores (Gidenne et al., 2001a; Perez et al., 1994, 1996). Estudos recentes também demonstraram o efeito favorável de fibras mais digestíveis, como as hemiceluloses e pectinas, na redução de problemas digestivos (Gidenne et al., 2001b; Perez et al., 2000). Consequentemente, as recomendações da fibra alimentar para coelhos em crescimento evoluiu muito nos últimos anos.

Os estudos sobre o efeito dos outros constituintes da dieta, como o amido, os compostos azotados ou os lípidos, na fisiologia digestiva do coelho são poucos, comparativamente aos inúmeros trabalhos que se têm debruçado sobre o efeito do teor, da natureza ou da proporção dos componentes da fibra sobre os fenómenos digestivos nos compartimentos anteriores ou posteriores do tubo digestivo (Falcão-e-Cunha, 2000).

3.2. O desenvolvimento dos compartimentos digestivos no coelho

O aparelho digestivo do coelho está apresentado na Figura 4 e reflecte a sua alimentação natural. É bem desenvolvido e nele se evidenciam pelo seu volume, o estômago e o ceco (Falcão-e-Cunha, 2000).

O primeiro compartimento importante do sistema digestivo do coelho é o estômago simples, dividido em dois sacos cuja capacidade, variável com o tipo de alimentação, é de cerca de 0,1 a 0,25 litros no animal adulto e está sempre parcialmente cheio (Carabaño e Piquer, 1998).

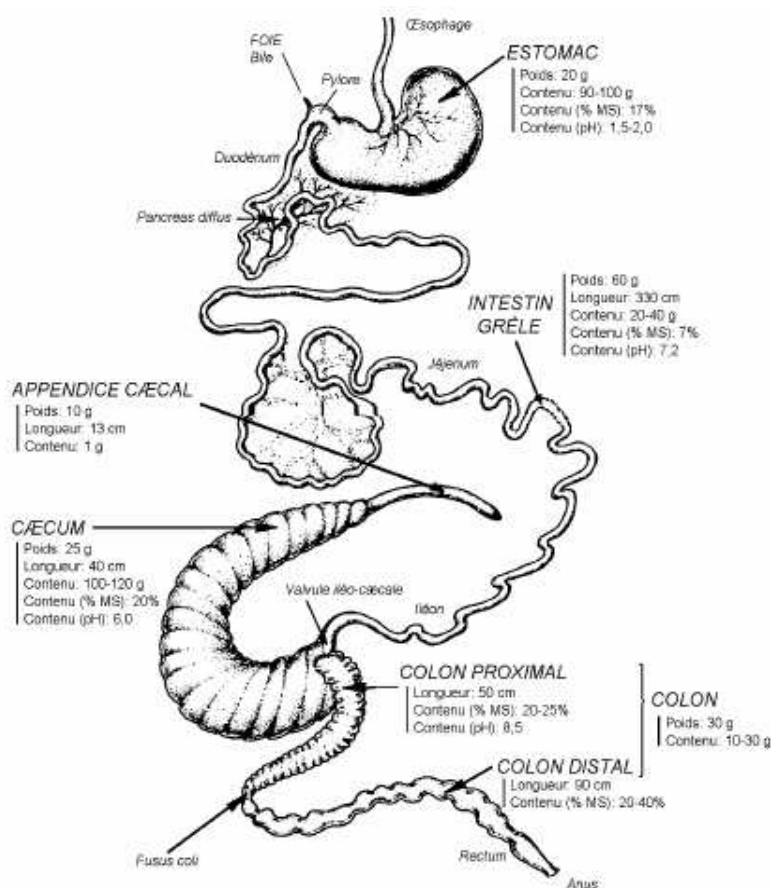


Figura 4

Representação esquemática do aparelho digestivo do coelho – valores numéricos para um coelho de 2,5 kg (Gidenne e Lebas, 2005)

A mucosa gástrica está dividida internamente em três zonas: a esofágica, a fúndica e a antral, com a segunda mais desenvolvida e mais espessa, compreendendo cerca de 2/3

do estômago. Apresenta-se revestida pelas glândulas que segregam enzimas e mucus e produzem ácido clorídrico (Falcão-e-Cunha, 2000). Não existe uma mistura perfeita entre o conteúdo e o suco gástrico devido à reduzida motricidade desta zona; os cecotrofos podem portanto permanecer intactos durante cerca de 6 horas no estômago (Carabaño e Piquer, 1998; Gidenne, 1987) o que favorece o desenrolar da acção das bactérias (Falcão-e-Cunha, 2000).

O estômago encontra-se ligado ao ceco através de um intestino delgado com cerca de 3 m de comprimento e com um diâmetro uniforme de cerca de 0,9 cm aproximadamente (Carabaño e Piquer, 1998). No intestino delgado distinguem-se três zonas com limites pouco definidos: duodeno, jejuno e íleo (Falcão-e-Cunha, 2000).

O ceco, órgão muito desenvolvido, tem cerca de 40 cm de comprimento e representa perto de 40 % do tubo digestivo (Gidenne, 1997). A mucosa cecal contém, além de células produtoras de mucus, outras que permitem a absorção dos produtos da actividade microbiana (Falcão-e-Cunha, 2000). Como consequência, a actividade microbiana do ceco é de grande importância para os processos de digestão e utilização de nutrientes (Gidenne, 1997). Além disso, a fermentação cecal aumenta o fornecimento de proteína microbiana de elevada qualidade através da cecotrofia, a ingestão de fezes moles de origem cecal (Garcia et al., 2000).

O intestino grosso continua pelo cólon, que pode ser dividido em duas porções, o cólon proximal (com cerca de 20 a 35 cm) e o cólon distal (com cerca de 80 a 100 cm) (Carabaño e Piquer, 1998).

Os diferentes segmentos do sistema digestivo do coelho crescem a ritmos diferentes até atingir a maturidade (Carabaño e Piquer, 1998). O desenvolvimento do tubo digestivo é precoce e o seu crescimento ponderal termina por volta das 11 semanas (Lebas e Laplace, 1972). A importância relativa dos diferentes órgãos evolui entre a 3ª e a 11ª semanas (Figura 5). O ceco e o cólon desenvolvem-se mais rapidamente do que o resto do corpo desde as 3 até às 7 semanas de idade, enquanto o tamanho relativo do estômago e intestino decresce entre as 3 e as 11 semanas de idade. Na realidade, o peso do ceco e do seu conteúdo aumentam rapidamente a seguir ao desmame duplicando entre o 25º e o 36º dias de vida dos láparos, como reflexo da alimentação exclusivamente sólida (Piattoni et al., 1995 cit. por Falcão-e-Cunha, 2000).

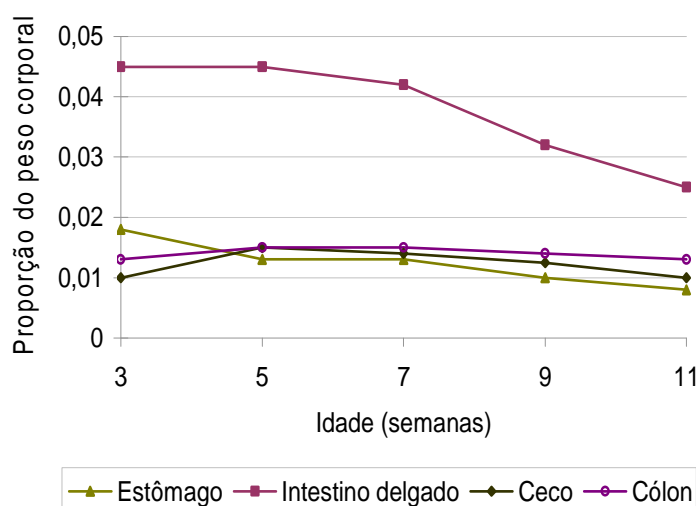


Figura 5

Desenvolvimento dos diferentes segmentos do sistema digestivo do coelho da 3ª a 11ª semana (Lebas e Laplace, 1972 de acordo com Carabaño e Piquer, 1998)

O rápido crescimento do ceco durante este período é mais evidente se estiverem incluídos os conteúdos cecais, atingindo uma proporção de 0,06 relativamente ao peso corporal do animal, às 7-9 semanas de idade (Carabaño e Piquer, 1998).

A importância do estômago relativamente aos outros órgãos traduz, às três semanas, a grande capacidade de ingestão dos láparos e, posteriormente, o estado de repleção permanente deste compartimento digestivo devido à permanência dos cecotrofos no estômago durante várias horas (Falcão-e-Cunha, 2000).

3.3. A Cecotrofia

A cecotrofia é um processo particular da coprofagia e inicia-se por volta das três semanas de idade, coincidindo com o começo da alimentação sólida (Gidenne e Lebas, 2005). A coprofagia é praticada, pelo menos sob determinadas condições, pela maioria dos roedores, como consequência da adaptação do processo digestivo de animais de pequenas dimensões a condições alimentares particularmente difíceis; mas no caso do coelho tem-se verificado que este processo é um hábito peculiar que implica uma clara relação com a fisiologia do seu sistema digestivo (Falcão-e-Cunha, 2000; Thacker e Brandt, 1955).

A ingestão de fezes permite uma repetitiva exposição dos digesta às acções químicas do processo digestivo (Falcão-e-Cunha, 2000). No caso do coelho, este fenómeno

digestivo é mais complexo do que a simples ingestão de fezes, no qual este animal produz dois tipos de fezes - duras e moles - ingerindo apenas as últimas (Gidenne, 1997).

A separação de partículas no cólon tem particular importância na fisiologia digestiva dos coelhos. Após a digestão dos nutrientes no intestino delgado, os resíduos passam através da válvula ileal e seguem para o cólon proximal e para o ceco. O cólon proximal realiza movimentos peristálticos e anti-peristálticos, os quais impulsionam parte do material para o ceco. Em contracções rápidas, desde a base do apêndice até a junção ileo-cecóica e vice-versa, o ceco mistura continuamente o seu conteúdo. Estes movimentos são responsáveis pela maior tendência das partículas de grandes dimensões de fibra indigestível e com pouco líquido fluírem para o cólon distal, e pelas partículas fermentáveis de pequenas dimensões e grande parte dos líquidos seguirem para o ceco, dando origem aos cecotrofos após sofrerem fermentação adicional (Harcourt-Brown, 2002).

Durante a cecotrofia este mecanismo de separação não actua, e o conteúdo do ceco atravessa o cólon sem sofrer grandes alterações (Falcão-e-Cunha, 2000). As fezes moles têm uma composição química semelhante à do conteúdo do ceco (Quadro 3), contendo maiores níveis de proteína, minerais, vitaminas e água e menores níveis de fibra do que as fezes duras, diferindo na forma física e processo de formação. A proteína das fezes moles é rica em aminoácidos essenciais tais como lisina, aminoácidos sulfurosos e treonina. Os cecotrofos são ingeridos directamente do ânus, engolidos sem mastigação, e armazenados no fundus do estômago, de modo a não se misturarem com o restante alimento, durante 3-6 horas, estando protegidos contra a digestão por uma camada de mucus (Mista, 2009).

Quadro 3

Comparação da composição química média dos conteúdos cecais e das fezes duras e das fezes moles (em %) (de acordo com os dados citados por Carabaño e Piquer, 1998)

	Ceco	Fezes moles	Fezes duras
Matéria seca (MS)	20,0	34,0	47,0
Proteína bruta (PB)	28,0	30,0	17,0
Fibra bruta (FB)	17,0	18,0	30,0

A composição das fezes e cecotrofos são influenciados pela dieta, pois o uso de alimentos fibrosos aumenta a participação da fibra em ambos, na mesma proporção, sendo que os cecotrofos contêm em média 60% do conteúdo de fibra das fezes (Carabaño et al., 1988). A quantidade produzida varia com o indivíduo, a idade do animal e a quantidade e composição do alimento, podendo alcançar 18% da matéria seca ingerida, em média, por dia (Fraga et al., 1991; Gidenne, 1987). Quando alimentados com dietas contendo baixos

níveis de fibra, a cecotrofia é reduzida pela hipomotilidade do intestino grosso, resultando num prolongado tempo de retenção e fermentação do material no ceco, estando directamente envolvida com a incidência de diarreias, enterites e impactação cecal (de Blas et al., 1986; Perez et al., 1994).

Convém sublinhar que esta particularidade digestiva, apesar de permitir a recuperação das proteínas bacterianas de alto valor biológico, sintetizadas no ceco, não garante a cobertura das necessidades de aminoácidos nas condições actuais de exploração do coelho (Falcão-e-Cunha, 2000). A cecotrofia constitui um processo eficiente de conservação de água e minerais reflectindo mais uma vez, embora sob outro aspecto, a adaptação do coelho às condições do seu habitat natural (Falcão-e-Cunha, 2000). Os cecotrofos, cujo teor de humidade pode atingir os 73% asseguram uma importante recuperação de água. A reingestão de água pelos cecotrofos pode atingir os 70 g por dia (Carabaño et al., 1988).

Resumindo, a prática da cecotrofia concorre para uma melhoria da digestibilidade global do regime alimentar, em particular das substâncias azotadas e constitui um processo eficiente de conservação de água e de elementos minerais (Falcão-e-Cunha, 2000).

3.4. Nutrição e patologia digestiva do coelho

No coelho, as composições microbiológicas e bioquímicas do conteúdo intestinal e o equilíbrio entre elas, particularmente no ceco, parecem ser factores predominantes na ocorrência de enterite pós-desmame. A mortalidade tem tendência a ocorrer principalmente nas duas semanas posteriores ao desmame, e tem como causa principal as patologias intestinais (Bennegadi et al., 2001; Padilha et al., 1995; 1999). Os láparos mudam de uma dieta rica em proteínas animais e gordura, mas pobre em hidratos de carbono, para uma dieta baseada em alimentos sólidos apenas com vegetais ricos em proteínas e hidratos de carbono (Orengo e Gidenne, 2007). Consequentemente, para atingir a sua plena capacidade funcional, o sistema digestivo passa de um sistema hidrolítico exclusivamente endógeno para um sistema em que a fermentação cecal se torna importante (Pascual, 2001). Além disso, as patologias de origem entérica ocorrem devido a um desenvolvimento incompleto da fisiologia digestiva, com alterações no trânsito dos digesta ao longo do intestino. As causas das diarreias pós desmame em láparos são de natureza multifactorial mas parece que, juntamente com a presença de agentes patogénicos, o tipo de dieta pode afectar a incidência destes processos patológicos (Lebas e Laplace, 1972; Scapinello et al., 1999).

Os factores da dieta que mais se relacionam com o aparecimento de diarreias são o teor de amido e de fibra, estando normalmente inversamente correlacionados nas dietas dos coelhos, e a natureza da fibra (Lebas et al., 1998). A fibra regula a velocidade do trânsito dos digesta ao longo do tracto digestivo e é um factor determinante que afecta a administração de energia para o crescimento das bactérias cecais. Por outro lado, elevados teores de amido poderiam provocar uma entrada no ceco de amido não digerido que poderia ser responsável de alterações na flora cecal. Uma quantidade excessiva de proteína também podia ser responsável por aumentos de mortalidade (Carabaño et al., 2002).

A administração de dietas desequilibradas relaciona-se com o aparecimento de desordens digestivas mediante dois mecanismos: a) promovendo um maior tempo de retenção do digesta no aparelho digestivo ou b) provocando um maior fluxo de substratos fermentescíveis no ceco (Lebas et al., 1998). Em ambas as situações, a alteração da microflora do intestino, com o predomínio do crescimento de bactérias patogénicas, foi dada como a possível causa principal destas patologias.

As considerações anteriores sugerem que a enterite mucóide e a diarreia podem ser controladas pela adição de material fibroso na ração, para que seja mantida a normalidade do trânsito digestivo (Herrera et al., 2001). Ainda sobre este aspecto, tem sido sugerido (Lebas e Laplace, 1977) que a hipomotilidade do aparelho digestivo pode ser a causa inicial das diarreias. Relativamente a esta teoria, as dietas com alto conteúdo em fibra não digestível relacionam-se com baixos teores de ácido butírico no ceco, ocasionando maior velocidade de trânsito digestivo. Pelo contrário, dietas com baixo teor de fibra permanecem demasiado tempo no ceco, dando lugar a fermentações indesejáveis (Herrera et al., 2001).

De acordo com Garcia et al. (1999), o tamanho das partículas da dieta, uma variável normalmente não determinada nos regimes alimentares de coelhos, tem uma grande influência na ingestão de matéria seca, no trânsito digestivo e na digestibilidade da fibra. Um aumento da proporção de partículas finas e o decréscimo da proporção de partículas de maiores dimensões, aumenta o tempo de retenção no ceco e a digestibilidade da fibra, mas diminui a ingestão de matéria seca.

3.5. Efeito da fibra sobre a fisiologia da digestão

Sendo um herbívoro monogástrico, o coelho apresenta uma fisiologia digestiva adaptada para a elevada ingestão de fibra alimentar, que é fermentada no intestino (ceco e cólon proximal), mas também adaptada para alimentos concentrados que são eficientemente digeridos no segmento anterior do tracto digestivo (Carabaño e Piquer,

1998). As consequências digestivas da ingestão de fibra são determinadas tanto pela quantidade de fibra consumida como pela degradação dos componentes da parede vegetal relativamente à sua estrutura física e química, por exemplo, o tamanho das partículas (Gidenne, 1992).

A importância da fibra na nutrição de animais de ceco funcional não se limita, apenas, ao seu valor como suplemento nutritivo, mas também se relaciona com a regulação do trânsito da digesta e com a manutenção da integridade da mucosa intestinal (de Blas et al., 1999). A fibra alimentar só pode ser digerida através da fermentação microbiana no tracto digestivo e a sua eficácia condiciona de forma significativa a utilização final do regime (Carabaño et al., 2002).

A composição química e estrutura física das paredes celulares vegetais variam muito entre fontes de fibra, tanto que a natureza e o teor de fibra têm efeitos importantes na digestão do coelho (de Blas et al., 1999). A presença dos componentes da parede celular vegetal no tracto gastrointestinal como substrato para a fermentação microbiana tem um relevante papel nutricional, já que o complexo ecossistema simbiótico em animais não ruminantes inclui colónias anaeróbicas distribuídas em mais de 400 espécies de bactérias (Gidenne et al., 2008). Em animais não ruminantes de ceco funcional como os coelhos, predominam os géneros *Bacteróides*, gram-negativos, não esporulados, cuja concentração varia em torno de $3,9 \times 10^{11}$ UFC/g do conteúdo cecal. A degradabilidade dos componentes fibrosos, assim como dos resíduos indigeridos que escapam ao processo digestivo enzimático, resultam na produção de CO₂, hidrogénio, metano e ácidos gordos voláteis (AGV) de cadeia curta (Gidenne, 1996; Gidenne e Fortun-Lamothe, 2002).

Tanto o excesso como a deficiência do teor de fibra podem afectar o correcto desenvolvimento do coelho. O elevado teor de fibra na dieta está associada uma fraca eficiência energética. Por outro lado, regimes com baixo teor de fibra estão associados a um maior tempo de retenção, e por isso, menor capacidade de ingestão e maior risco de problemas digestivos. Além disso, regimes com baixo teor em fibra conduzem a uma menor concentração de AGV e a um maior pH dos conteúdos cecais, tanto que a integridade da mucosa e o controlo de agentes patogénicos do intestino podem diminuir. Baixo teor de fibra pode também implicar uma elevada concentração de amido no regime, que pode estar relacionada com maior incidência de diarreias, especialmente no período pós-desmame (Padilha et al., 1999; Bellier e Gidenne, 1996).

3.5.1. Digestibilidade da matéria seca e da matéria orgânica

O equilíbrio nutritivo dos alimentos compostos e o nível alimentar são factores que podem afectar os coeficientes de utilização digestiva. Um aumento no teor de fibra em dietas equilibradas conduz a um aumento da ingestão de matéria seca e produção de fezes moles, tal como foi verificado por Carabaño et al. (1988) que referem um aumento linear da ingestão de matéria seca na ordem de $2,97 \text{ g dia}^{-1}$ por cada unidade percentual de aumento de fibra bruta. De acordo com Lebas et al. (1982), de Blas et al. (1986) e Gidenne (1987), o aumento do teor da própria fibra no regime, que possui digestibilidade inferior às outras fracções, aliado ao facto da sua presença constituir um factor depressivo da digestibilidade dos outros componentes do regime, com excepção dos constituintes azotados, influencia negativamente a digestibilidade global do regime.

A diminuição da digestibilidade da matéria orgânica em regimes ricos em fibra pode resultar do aumento da quantidade ingerida e da simultânea diminuição do tempo de permanência dos alimentos no aparelho digestivo, que reduz o tempo disponível para a degradação enzimática (Gidenne, 1992).

No Quadro 4, apresentam-se os valores das digestibilidades da matéria orgânica (MO) para diferentes teores de fibra nos regimes cuja principal fonte de fibra foi a luzerna.

Quadro 4

Efeito do teor de NDF sobre a digestibilidade da matéria orgânica em regimes de luzerna como principal fonte de fibra

NDF (%)	CUD MO (%)	Referência Bibliográfica
40-50	50-60	de Blas et al., 1986 Gidenne, 1987
30-40	60-70	de Blas et al., 1986
< 30	> 70	Bellier e Gidenne, 1996 de Blas et al., 1986

3.5.2. Digestibilidade da energia

Com quantidades de fibra em detergente ácido (ADF) que variam entre 18 e 24%, os coelhos em crescimento podem regular a ingestão de energia e o seu crescimento não varia significativamente (de Blas et al., 1999).

As partículas de maiores dimensões não são facilmente fermentadas pelo coelho, e o tempo de fermentação das partículas menores é restrito devido ao esvaziamento diário do ceco. Consequentemente, o trânsito dos digesta é mais rápido do que nas outras espécies, como ruminantes, suínos ou cavalos e a extensão da digestão da fibra é menor (Slade e Hintz, 1969). Um aumento do teor de fibra na dieta faz diminuir a eficiência de retenção de energia digestível em animais em crescimento. Este efeito é explicado por um aumento nas perdas durante a fermentação (sob a forma de metano e calor). Outra consideração a ter-se em conta é a heterogeneidade dos diferentes componentes da parede celular. Como consequência das diferenças no grau de lenhificação e da elevada digestibilidade das pectinas, a substituição destes ingredientes na dieta determina elevadas e significativas diferenças da ED na dieta (de Blas et al., 1999).

Para teores de NDF baixos, cerca de 30%, o aumento do teor de lenhina de 2% para 6% provoca uma diminuição da digestibilidade da energia (Gidenne e Perez, 1994), mas o mesmo não acontece para teores mais elevados de NDF. Para teores de cerca de 50% de NDF, o aumento de ADL de 7% para 16% não afecta a digestibilidade da energia, de acordo com Gidenne (1987).

3.5.3. Digestibilidade da fracção proteica

O teor de fibra na dieta parece não afectar o coeficiente de digestibilidade da PB. Este parâmetro depende principalmente da origem da proteína, que sofre variações entre os diferentes trabalhos (Fraga et al., 1991).

Dietas com teores de ADF entre 9 e 24% apresentaram uma diminuição de 0,74 pontos percentuais no coeficiente de digestibilidade da PB ao aumentar 1% o teor de ADF da dieta (Carabaño et al., 1988). Por outro lado, Lebas et al. (1982), com o mesmo teor de proteína bruta, 19%, e diferentes teores de fibra não observaram diferenças significativas na digestibilidade da proteína bruta. Estes resultados foram, posteriormente, confirmados por Gidenne e Perez (1994).

3.5.4. Digestibilidade das fracções fibrosas do regime

A digestibilidade da fibra parece não ser fortemente afectada pela redução do teor de fibra alimentar no regime (Gidenne et al., 2000). Ao contrário de Bellier e Gidenne (1996), duas semanas após o desmame Gidenne et al. (2000) registaram uma redução linear no teor de AGV, de acordo com a diminuição na quantidade de fibra ingerida, logo, não foram

encontradas mudanças no teor de AGV do ceco, tal como relatado anteriormente (Carabaño et al., 1988; Garcia et al., 1995). O baixo teor de fibra digestível, como a celulose, que entra no ceco não limita o processo de fermentação, provavelmente porque o tempo de retenção dos digesta no ceco é demasiado reduzido para ocorrer uma hidrólise significativa. Em contrapartida, o tempo de retenção no ceco parece ser suficientemente longo para permitir a degradação substancial de fracções de fibra digestíveis, como as pectinas e as hemiceluloses (Gidenne et al., 2000).

No entanto, outros estudos apontam para uma variação na digestibilidade das diferentes fracções fibrosas com a natureza da fibra do regime. Para o mesmo teor de NDF podem verificar-se grandes variações na sua digestibilidade. No seu trabalho, Garcia et al. (1993) verificaram um aumento da digestibilidade do NDF com o nível de incorporação de polpa de beterraba.

A digestibilidade do NDF decresce com o aumento de ADF (de Blas et al., 1986; Gidenne, 1992; Gidenne e Perez, 1994). Por outro lado, para o mesmo teor de ADF de cerca de 20%, o aumento do teor de NDF aumentou a sua própria digestibilidade como consequência do aumento do teor de fibra digestível, hemiceluloses e pectinas (Gidenne e Jehl, 1996). Outro factor que pode afectar a digestibilidade de NDF é o teor de lenhina. Quando o teor de lenhina aumenta de 7.4 para 16%, a digestibilidade do NDF diminui cerca de 10%, possivelmente devido à diminuição da digestibilidade das hemiceluloses, uma vez que a digestibilidade da celulose não é afectada (Gidenne, 1987).

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio experimental decorreu nas instalações do Departamento de Produção Agrícola e Animal, do Instituto Superior de Agronomia (ISA), onde foram formulados e fabricados os regimes, e efectuadas todas as análises necessárias. Neste trabalho foi estudado o efeito da inclusão das dreches de cervejaria na alimentação de coelhos após o desmame, comparando com matérias-primas comuns (luzerna e polpa de beterraba).

1. Animais

No primeiro ensaio, foram utilizados 144 coelhos, com 3 semanas de vida.

Os animais foram divididos em grupos de 3 láparos por gaiola e 12 gaiolas por regime alimentar, durante a primeira semana de ensaio experimental (dos 21 aos 28 dias de idade). A escolha de cada lote de 3 coelhos por gaiola foi feita de acordo com o peso (os animais foram pesados individualmente de forma a formar lotes de peso semelhante em cada um dos regimes), dando origem a um peso médio inicial de $1021,75 \pm 67,53$ g por gaiola.

Todos os coelhos foram inicialmente identificados com um número.

Num segundo ensaio, após o abate de 48 coelhos no final da primeira semana de ensaio, os animais foram pesados individualmente e permaneceram apenas 1 por gaiola e 12 gaiolas por regime alimentar, até aos 70 dias de idade.

Neste ensaio, cada coelho passou a ter uma identificação definitiva (Regime + número de gaiola).

Em ambos os ensaios, os coelhos foram alojados em gaiolas equipadas com comedouro e bebedouro tipo chupeta. O piso em ripado e os tabuleiros em aço inoxidável permitiram a recolha das fezes e da urina.

2. Regimes

Na fábrica de alimentos compostos da Secção de Produção Animal do ISA, formularam-se quatro regimes alimentares (Quadro 5) equilibrados, em que 50% do teor de NDF foi fornecido pela fonte de fibra em estudo: luzerna (AL), dreches não lavados (DNL), dreches lavados (DL) e polpa de beterraba (BEET).

Na preparação dos regimes procedeu-se à moenda das matérias-primas, num moinho de martelos com um crivo de 3 mm de diâmetro. As matérias-primas foram pesadas e misturadas numa misturadora horizontal com fita em espiral. Por fim, os regimes foram granulados numa prensa com um crivo de 3 mm.

A quantidade de alimento distribuída aos animais foi ajustada ao longo dos ensaios em função do peso vivo dos coelhos e do alimento refugado.

Quadro 5

Ingredientes e composição dos regimes alimentares experimentais (g kg⁻¹)

Regimes ^a	AL	DNL	DL	BEET
Ingredientes (g kg ⁻¹)				
Trigo	300	340	340	260
Sêmea	180	230	230	150
Bagaço de girassol	50	50	50	100
Bagaço de soja	140	20	20	130
Luzerna	300	-	-	-
Dreche não lavado	-	310	-	-
Dreche lavado	-	-	310	-
Polpa de beterraba	-	-	-	340
Óleo	20	27	27	10
Premix	3	3	3	3
Sal	5	5	5	5
Carbonato	1	12,5	12,5	1
Fosfato	0,7	-	-	1
Lisina	0,3	2,5	2,5	-
Composição química (g kg ⁻¹ MS)				
Matéria seca	899	873	871	893
Cinza	71	53	52	55
Matéria orgânica	929	947	948	945
Proteína Bruta (N x 6,25)	175	195	194	183
Fibra em detergente neutro	357	350	369	352
Fibra em detergente ácido	188	117	129	169
Lenhina em detergente ácido	41	29	38	30
Celulose	147	88	91	139
Hemiceluloses	169	233	240	183
Energia digestível (MJ kg ⁻¹ MS) ^b	11,12	12,85	12,37	11,84

^a AL: luzerna; DNL: dreches não lavados; DL: dreches lavados; BEET: polpa de beterraba.

^b Energia digestível calculada a partir dos valores de CUD da oitava semana de idade.

3. Procedimentos experimentais

Os regimes foram distribuídos *ad libitum*, desde os 21 dias até às 10 semanas de idade. No primeiro ensaio, o alimento foi pesado e fornecido em dias alternados entre o primeiro e o sétimo dia, e os refugos pesados para calcular a quantidade de alimento ingerida. Os coelhos foram pesados no primeiro, terceiro e último dia.

No segundo ensaio, a quantidade de alimento consumida foi verificada três vezes por semana e os animais foram pesados uma vez por semana. Durante os últimos 4 dias da oitava semana de idade, as fezes foram recolhidas para a determinação da digestibilidade. As fezes recolhidas foram pesadas diariamente, embaladas em sacos devidamente identificados e conservadas a uma temperatura próxima de 20 °C negativos.

No final de cada ensaio experimental, os animais foram abatidos. A carcaça, o aparelho digestivo completo e cheio, o estômago e ceco cheios e vazios e o fígado foram pesados. O pH dos conteúdos gástricos e cecais foram ambos medidos. Procedeu-se ainda, à recolha de parte da mucosa do intestino delgado.

4. Análises químicas

Foram recolhidas duas amostras de cada regime e moídas, num moinho Retch com um crivo de 1 mm. As fezes recolhidas foram descongeladas e secas a 65-70 °C, durante 48 h, e moídas igualmente num moinho Retch com um crivo de 1mm. As amostras dos alimentos e das fezes foram então colocadas em frascos de vidro identificados até posteriores análises.

A matéria seca (MS) e a cinza foram analisadas em duplicado em 2 g de cada amostra, sendo o resultado da análise, a média das duas repetições. A MS foi determinada através da secagem da amostra na estufa a 103 °C, e a cinza através da incineração da amostra na mufla a 550 °C, ambas durante 24h.

A PB foi determinada pelo Método de Kjeldahl e multiplicando o azoto determinado no método por 6,25, assumindo que toda a proteína contém 16% de azoto.

O NDF, o ADF e o ADL foram determinados segundo Van Soest et al. (1991), através do sistema Fibertec (Tecator, Suécia). As hemiceluloses e a celulose foram obtidas pelas diferenças NDF-ADF e ADF-ADL, respectivamente.

As energias dos alimentos e das fezes foram determinadas pela combustão completa de 1 g de amostra numa bomba calorimétrica (Parr 1261).

O pH dos conteúdos gástricos e cecais foi determinado, após homogeneização das amostras, através de um eléctrodo de vidro (WTW pH 522).

5. Parâmetros estudados

Os dados recolhidos no decorrer das 7 semanas de ensaio para as duas séries de coelhos, permitiram avaliar os diferentes parâmetros relacionados com os resultados zootécnicos, a digestibilidade e a morfologia da mucosa intestinal.

5.1. Resultados zootécnicos

O controlo da ingestão de alimento e o controlo semanal do peso vivo permitiu calcular a quantidade diária de alimento ingerido, o aumento de peso diário e o índice de conversão.

Quantidade diária de alimento ingerido (somatório do alimento consumido dividido pelo número de dias entre cada distribuição de alimento):

$$Q_{ing} = (Ad - R) / n^{\circ} \text{ dias}$$

Q_{ing} - quantidade ingerida de alimento

Ad - alimento distribuído

R - refugo

Aumento de peso diário (razão entre a variação do peso do animal e o número de dias que decorrem entre as pesagens):

$$Ap = (P_2 - P_1) / n^{\circ} \text{ dias}$$

Ap - aumento de peso diário

P_1 - peso inicial

P_2 - peso final

Índice de conversão (quociente entre a quantidade ingerida de alimento e o aumento do peso vivo durante o mesmo intervalo de tempo):

$$IC = Q_{ing} / Ap$$

IC - índice de conversão

Qing - quantidade diária de alimento ingerido

Ap - aumento de peso diário

5.2. Digestibilidade fecal aparente

Foram calculados os Coeficientes de Utilização Digestiva aparente (**CUDap**) para a matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, NDF, ADF, ADL, hemiceluloses, celulose e energia, utilizando a expressão clássica:

$$\text{CUDap} = [(Q_{\text{ing}} - Q_{\text{exc}}) / Q_{\text{ing}}]$$

Qing – quantidade de alimento ingerido

Qexc – quantidade de fezes excretadas

5.3. Morfologia da mucosa intestinal

No final de cada ensaio foram recolhidas amostras de mucosa do intestino delgado a cerca de 50 cm da válvula íleo-cecal de cada coelho. As amostras foram fixadas em formol tamponado e prepararam-se os cortes histológicos corados com hematoxilina-eosina. Observaram-se as preparações ao microscópio (Olympus BX511) com uma lente ocular de 10x e lente objectiva de 10x. Foram fotografadas, com uma câmara fotográfica digital (Olympus DP11) incorporada ao microscópio, 10 vilosidades e 10 criptas por coelho de modo a obter a média da altura das vilosidades e da profundidade das criptas para cada regime, através do software Olympus DP Soft.

6. Análises estatísticas

Os dados relativos aos resultados zootécnicos, à digestibilidade, aos resultados de abate e à morfologia da mucosa intestinal foram sujeitos a análise da variância de acordo com um modelo factorial de 1 factor. Esta análise foi feita no programa SAS (Statistical Analysis System, data 2002).

RESULTADOS

1. Resultados zootécnicos

1.1. Primeiro ensaio

Os resultados da adaptação ao regime alimentar apresentam-se no Quadro 6. Não foram utilizados os resultados de 2 coelhos que morreram durante a experiência (um alimentado no regime DL e o outro no regime BEET). Os pesos iniciais e finais por gaiola não foram significativamente diferentes entre os regimes e foram em média 1022 g e 1447 g, respectivamente.

A natureza de fibra afectou significativamente ($P < 0,001$) a quantidade ingerido (Figura 6).

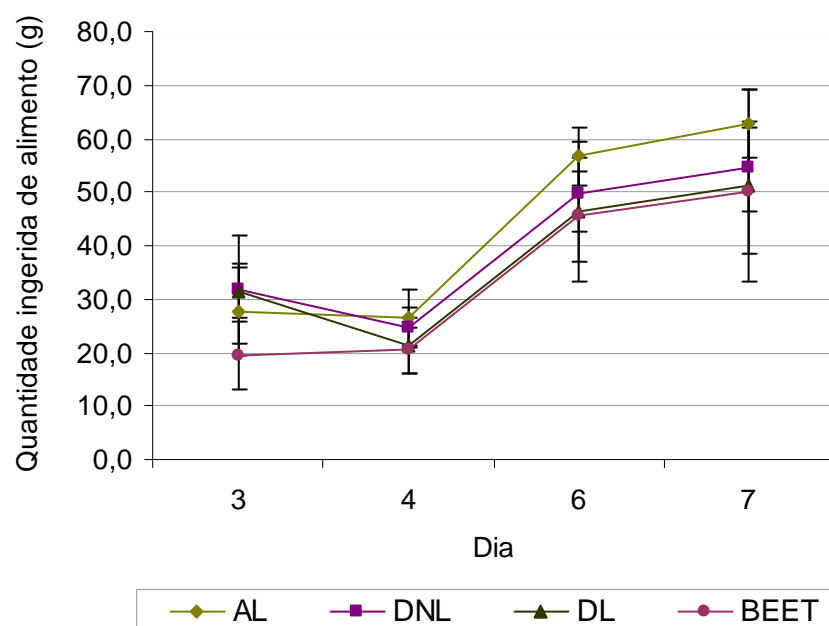


Figura 6

Evolução da quantidade de alimento ingerido ao longo da primeira semana de ensaio

No regime AL verificou-se uma quantidade de alimento ingerido superior ($P < 0,0002$) aos outros regimes (33 g dia^{-1} , por animal), e nos regimes BEET e DL verificaram-se quantidades de alimento ingerido inferiores ($P < 0,0002$) (26 e 28 g dia^{-1} , por animal, respectivamente).

Quadro 6

1º ensaio - Efeito da natureza da fibra na adaptação ao regime, dos 21 aos 28 dias de idade (primeiro período)

	AL ¹	DNL ¹	DL ¹	BEET ¹	RMSE*	Significância estatística
Peso vivo por gaiola (g)						
Aos 21 dias	1036	1035	1007	1009	67,53	0,570
Aos 28 dias	1494	1474	1411	1408	109,15	0,140
Quantidade ingerida (g)						
Por gaiola	694 a	632 b	586 bc	550 c	74,59	0,0002
Por animal por dia	33 a	30 b	28 bc	26 c	3,55	0,0002
Aumento de peso (g)						
Por gaiola	457 a	439 ab	403 b	400 b	64,60	0,096
Por animal por dia	22 a	21 ab	19 b	19 b	3,08	0,095
Índice de conversão	1,52 a	1,45 ab	1,47 ab	1,39 b	0,12	0,061

¹ AL: luzerna; DNL: dreches não lavados; DL: dreches lavados; BEET: polpa de beterrabaa, b, c: letras diferentes na mesma linha indicam que as médias diferem significativamente ao nível $P = 0,05$

*RMSE: root mean square error

1.2. Segundo ensaio

Os resultados zootécnicos dos coelhos entre os 28 e os 70 dias de idades estão apresentados no Quadro 7. Não foram utilizados os resultados de 2 coelhos que morreram durante a experiência (um alimentado no regime AL e o outro no regime DL).

A natureza de fibra afectou a quantidade de alimento ingerido, o aumento de peso e o índice de conversão. Verificaram-se diferenças no peso final dos coelhos ao fim de 7 semanas de ensaio ($P < 0,05$), com um valor muito inferior para o regime BEET (1937 g) do que para os restantes regimes. A Figura 7 mostra a evolução do peso vivo dos coelhos ao longo das 7 semanas de ensaio.

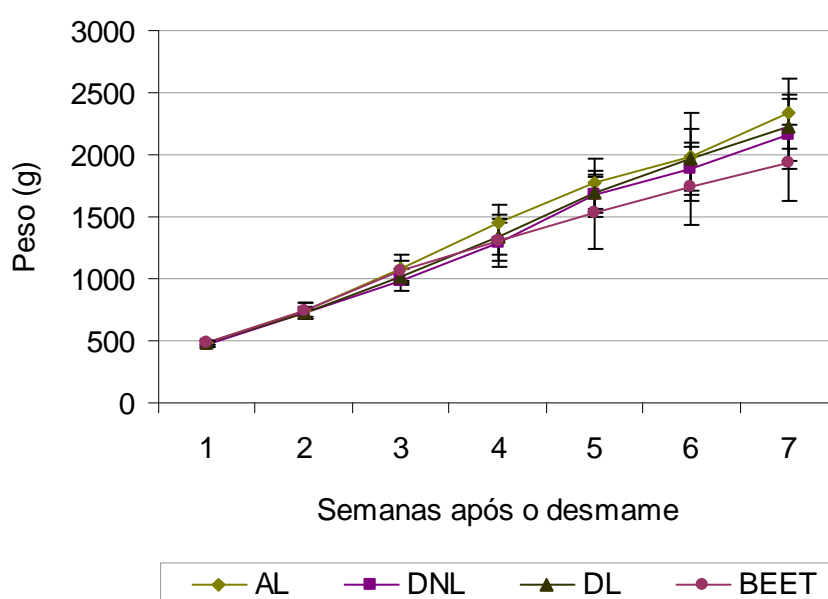


Figura 7

Evolução do peso vivo dos coelhos ao longo do período experimental

Os coelhos no regime AL ingeriram maior quantidade de alimento e obtiveram piores índices de conversão (IC) do que os coelhos alimentados nos restantes regimes.

As diferenças ($P = 0,001$) na quantidade diária ingerida verificadas no segundo período (dos 28 aos 42 dias de idade) com valores médios de 76, 60, 61 e 66 g dia⁻¹ para AL, DNL, DL e BEET, respectivamente, foram acentuadas ($P < 0,0001$) no terceiro período (dos 42 aos 70 dias de idade), excepto entre os regimes DNL e DL, onde se verificaram valores médios muito próximos (114 e 112 g dia⁻¹, respectivamente). Estas diferenças reflectem-se ($P < 0,0001$) no período total (dos 28 aos 70 dias de idade), com a mesma

excepção entre os regimes DNL e DL que não apresentam diferenças significativas entre si (96 e 95 g dia⁻¹, respectivamente).

Na Figura 8 apresenta-se a quantidade de alimento ingerido ao longo das 7 semanas de ensaio experimental, onde se podem verificar as diferenças entre os regimes.

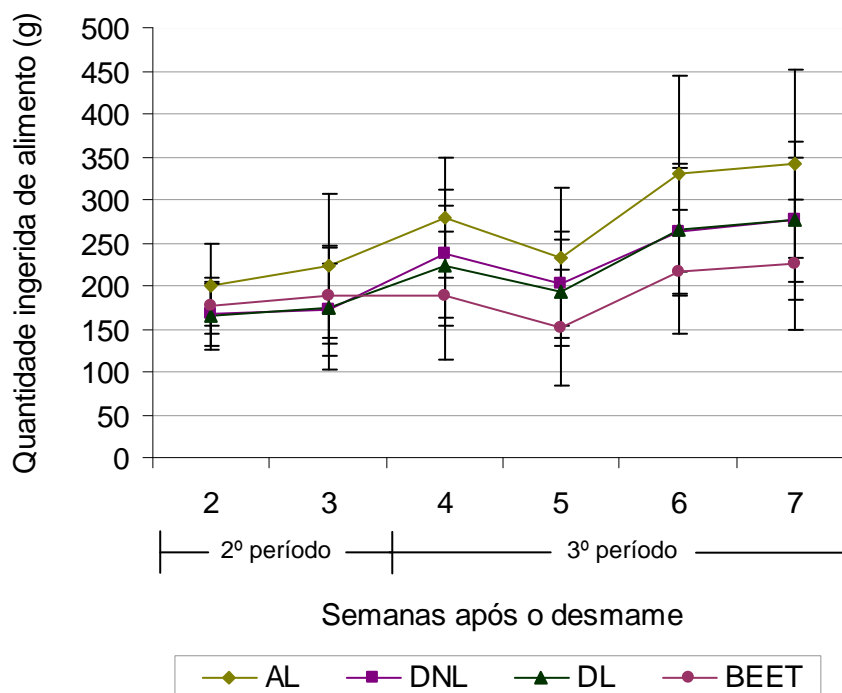


Figura 8

Evolução da quantidade de alimento ingerido ao longo do período experimental

O IC foi sempre ($P < 0,05$) pior no regime AL do que nos restantes regimes, independentemente do período considerado (o segundo, o terceiro ou o conjunto dos dois). No período total a diferença ($P < 0,01$) entre o IC no regime AL e os outros regimes é mais significativa.

No segundo período do ensaio, existe uma tendência ($P = 0,076$) para a natureza da fibra afectar o aumento de peso entre os coelhos dos diferentes regimes. No entanto, essa diferença ($P < 0,01$) só se reflecte a partir do terceiro período e em relação ao regime BEET, que apresenta um aumento de peso diário inferior (31 g dia⁻¹) aos regimes AL (45 g dia⁻¹), DNL (42 g dia⁻¹) e DL (43 g dia⁻¹), que não apresentam diferenças significativas entre si.

Quadro 7

2º ensaio - Efeito da natureza da fibra na quantidade de alimento ingerido e no crescimento, por animal, dos 28 aos 70 dias (abate)

	AL ¹	DNL ¹	DL ¹	BEET ¹	RMSE*	Significância estatística
Peso vivo (g)						
Aos 28 dias	479	472	479	477	18,59	0,817
Aos 42 dias	1086 a	991 b	1019 ab	1057 ab	90,71	0,078
Aos 70 dias	2332 a	2162 a	2220 a	1937 b	286,98	0,015
Segundo período (28-42 dias)						
Quantidade diária ingerida (g)	76 a	60 b	61 b	66 b	9,86	0,001
Aumento de peso diário (g)	43 a	37 bc	39 c	41 ac	6,09	0,076
Índice de conversão	1,78 a	1,63 ab	1,58 b	1,59 b	0,17	0,050
Terceiro período (42-70 dias)						
Quantidade diária ingerida (g)	138 a	114 b	112 b	91 c	16,78	<0,0001
Aumento de peso diário (g)	45 a	42 a	43 a	31 b	8,71	0,003
Índice de conversão	3,17 ac	2,81 bc	2,65 bc	2,99 c	0,41	0,032
Período total (28-70 dias)						
Quantidade diária ingerida (g)	117 a	96 b	95 b	83 c	12,45	<0,0001
Aumento de peso diário (g)	44 a	40 ab	41 a	35 b	6,70	0,014
Índice de conversão	2,70 a	2,42 b	2,30 b	2,40 b	0,26	0,009

¹ AL: luzerna; DNL: dreches não lavados; DL: dreches lavados; BEET: polpa de beterrabaa, b, c: letras diferentes na mesma linha indicam que as médias diferem significativamente ao nível $P = 0,05$

*RMSE: root mean square error

2. Digestibilidade

Os resultados da digestibilidade dos regimes estudados apresentam-se no Quadro 8. A fonte de fibra afectou significativamente os coeficientes de utilização digestiva aparente (CUD), calculados às 8 semanas de idade, da maior parte das fracções analíticas.

Na figura 9 apresentam-se os resultados relativos ao efeito da natureza da fibra na digestibilidade global dos regimes em estudo.

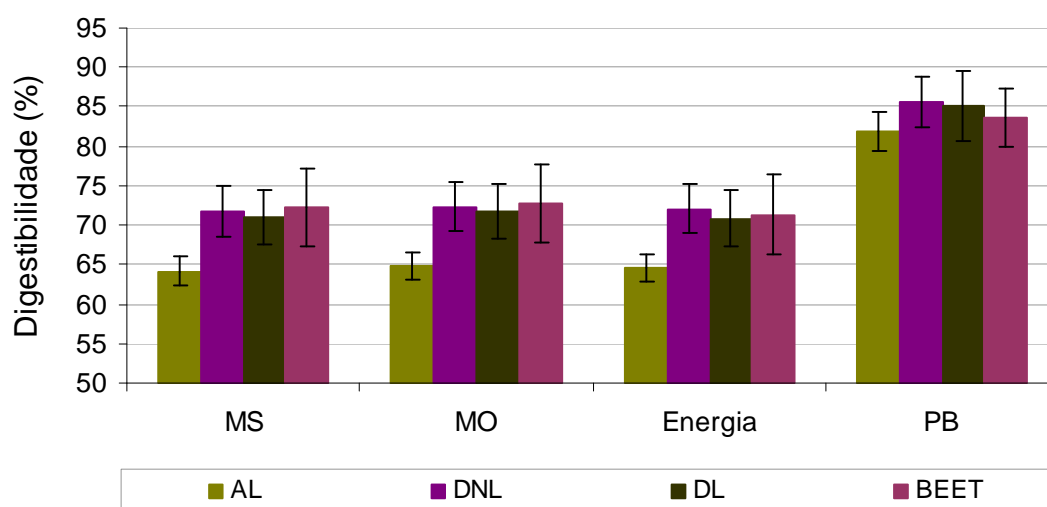


Figura 9

Efeito da natureza da fibra nos parâmetros da digestibilidade global dos regimes (valores médios)

Os CUD de MS, MO e energia foram inferiores ($P < 0,0001$) no regime AL, enquanto que nos outros regimes os coeficientes não diferem significativamente entre si. O CUD da energia foi cerca de 10% inferior no regime AL do que nos regimes de dreches e BEET: foi de 0.646, 0.721, 0.709 e 0.714 para AL, DNL, DL e BEET, respectivamente. A variação na digestibilidade da MO seguiu a tendência da energia, apresentando também no regime AL um valor cerca de 10% inferior aos outros regimes.

A natureza de fibra não afectou significativamente a digestibilidade da PB.

Na figura 10 apresentam-se os resultados relativos ao efeito da fonte da fibra na digestibilidade dos constituintes da parede celular dos regimes em estudo.

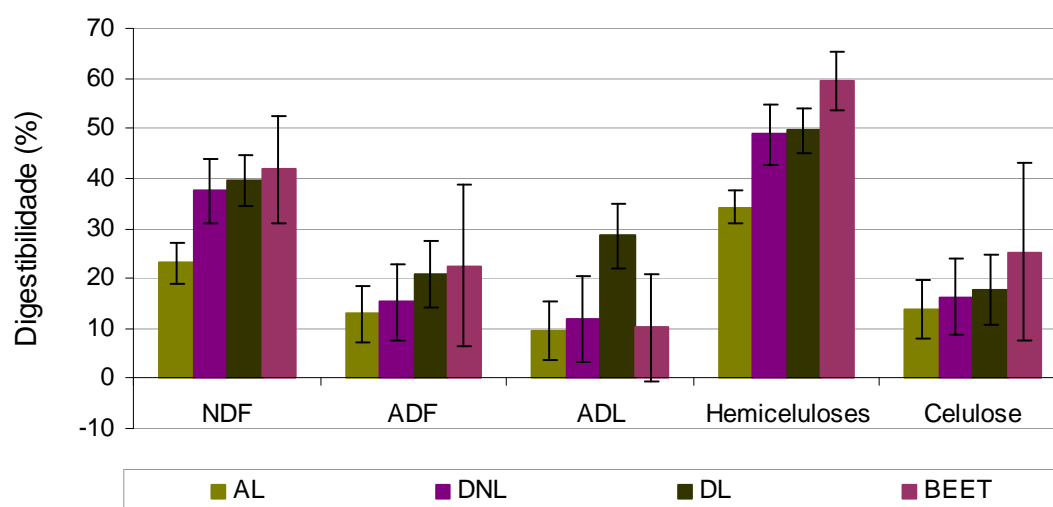


Figura 10

Efeito da natureza da fibra na digestibilidade dos constituintes da parede celular (valores médios)

Os constituintes da parede celular foram mais digestíveis no regime BEET do que em DL e DNL, e mais digestíveis em DL e DNL do que em AL. O CUD do NDF foi de 0.418, 0.395, 0.376 e 0.230 para BEET, DL, DNL e AL, respectivamente. A fracção ADL foi mais digestível no regime DL do que nos restantes regimes com uma diferença de quase 60%.

É na digestibilidade das hemiceluloses que se apresenta o maior efeito da natureza da fibra, com um valor baixo (0.343) no regime AL, intermédio (0.488 e 0.495 para DNL e DL, respectivamente) nos regimes de dreches e elevado (0.596) no regime BEET, com uma significância de $P < 0,0001$.

Quadro 8

Efeito da natureza da fibra nos coeficientes de utilização digestiva aparente (CUD) às 8 semanas de idade

	AL ¹	DNL ¹	DL ¹	BEET ¹	RMSE*	Significância estatística
Coefficientes de utilização digestiva						
Matéria seca	0,642 a	0,718 b	0,711 b	0,723 b	3,34	<0,0001
Matéria orgânica	0,648 a	0,724 b	0,717 b	0,728 b	3,24	<0,0001
Proteína bruta	0,818 a	0,855 b	0,851 b	0,837 ab	3,53	0,074
NDF	0,230 a	0,376 b	0,395 b	0,418 b	6,80	<0,0001
ADF	0,129 a	0,152 a	0,208 ab	0,226 b	9,58	0,028
ADL	0,094 a	0,118 a	0,284 b	0,102 a	8,28	<0,0001
Hemiceluloses	0,343 a	0,488 b	0,495 b	0,596 c	4,99	<0,0001
Celulose	0,138 a	0,163 a	0,177 a	0,252 b	10,20	0,017
Energia	0,646 a	0,721 b	0,709 b	0,714 b	3,40	<0,0001

¹ AL: luzerna; DNL: dreches não lavados; DL: dreches lavados; BEET: polpa de beterrabaa, b, c: letras diferentes na mesma linha indicam que as médias diferem significativamente ao nível $P = 0,05$

*RMSE: root mean square error

3. Resultados de abate

3.1. Primeiro ensaio

3.1.1. Desenvolvimento dos diferentes órgãos e pH dos conteúdos gástricos e cecais

Os resultados do efeito da fibra na adaptação ao regime alimentar encontram-se no Quadro 9. A natureza da fibra não afectou o peso vivo, o peso de carcaça nem o peso do estômago dos láparos durante a adaptação ao regime. Por outro lado, a natureza da fibra afectou todos ou outros parâmetros considerados no abate.

O tubo digestivo cheio apresentou um valor significativamente ($P = 0,01$) mais elevado (168.4 g) no regime BEET, intermédio (155.2 g) no regime AL, e mais baixo (145,4 e 140.1 g) nos regimes DNL e DL, respectivamente.

Expressos em proporção do peso vivo, os pesos do ceco cheio e vazio no regime BEET (93 e 18 g kg⁻¹, respectivamente) foram significativamente ($P = 0,002$) superiores aos restantes regimes, e os valores mais baixos (66 e 14 g kg⁻¹, respectivamente) observaram-se com o regime DNL.

A natureza da fibra afectou o peso do fígado em termos absolutos ($P < 0,05$) e em termos relativos ($P = 0,002$). O fígado apresentou pesos mais elevados nos regimes AL e DNL (30.9 e 32.4 g, respectivamente) e mais baixos nos regimes DL e BEET (27.2 e 25.9 g, respectivamente).

O pH do conteúdo do estômago foi significativamente ($P < 0,0001$) afectado pela natureza de fibra. O regime AL apresentou pH superior (1.88), o regime DL apresentou um valor de pH intermédio (1.66) e os regimes DNL e BEET apresentaram os valores de pH mais baixos (1.47 e 1.37, respectivamente). O pH do conteúdo cecal foi afectado pela natureza da fibra ($P < 0,0001$), tendo os regimes AL e BEET valores de pH mais baixos (5.97 e 5.72, respectivamente) e os regimes DNL e DL valores de pH mais elevados (6.37 e 6.47, respectivamente).

3.1.2. Morfologia da mucosa intestinal

De acordo com os resultados expostos no Quadro 10, verificou-se um efeito significativo da natureza da fibra na altura e largura das vilosidades ($P < 0,05$), bem como na profundidade das criptas ($P = 0,001$), na semana de adaptação ao regime alimentar.

Na Figura 11 apresenta-se o corte histológico das vilosidades e criptas de cada um dos regimes na semana de adaptação dos láparos às novas dietas, desde os 21 até aos 28 dias de idade.

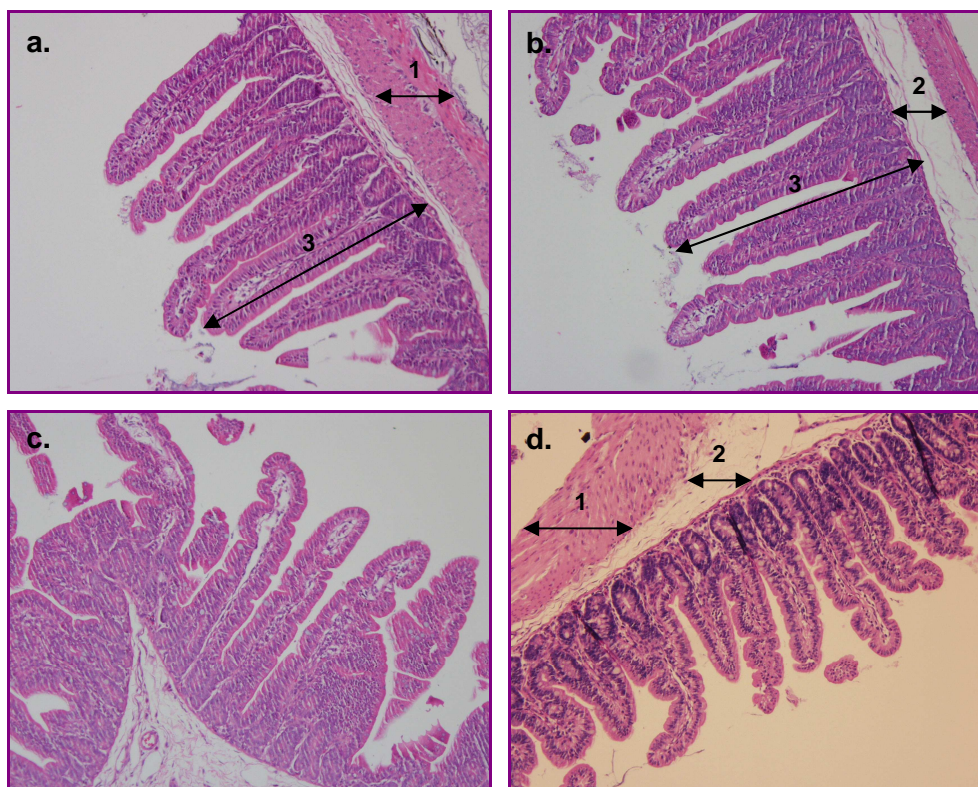


Figura 11

Corte histológico (objectiva 10x) das vilosidades e criptas do intestino delgado dos coelhos alimentados em diferentes dietas na semana de adaptação ao regime alimentar (a. AL; b. DNL, c. DL; d. BEET; 1. camada muscular; 2. sub-mucosa; 3. mucosa)

As vilosidades apresentaram-se mais curtas no regime BEET (289.02 μm) do que nos restantes regimes (356.19, 356.41 e 361.45 μm para AL, DNL e DL, respectivamente). Relativamente à largura das vilosidades, estas eram mais largas nos regimes AL e BEET (79.58 e 81.24 μm , respectivamente) e mais estreitas nos regimes à base de dreches (71.80 e 68.82 μm para DNL e DL, respectivamente).

As criptas apresentaram-se muito profundas no regime BEET (92.22 μm), intermédias nos regimes AL e DNL (77.97 e 82.63 μm , respectivamente) e pouco profundas no regime DL (66.23 μm).

Ao comparar a relação entre a altura das vilosidades e a profundidade das criptas entre regimes, verificou-se um efeito significativo ($P < 0,0001$) da fonte da fibra nos primeiros dias de adaptação ao regime. O regime DL apresentou vilosidades maiores relativamente à profundidade das criptas (5.52) e o regime BEET apresentou a menor relação AV:PC (3.14).

Quadro 9

1º ensaio - Efeito da adaptação ao regime no peso da carcaça, no desenvolvimento dos compartimentos digestivos e no pH do estômago e do ceco aos 28 dias

	AL ¹	DNL ¹	DL ¹	BEET ¹	RMSE*	Significância estatística
Peso Vivo (g)	602	598	565	600	47,88	0,204
Peso Carcaça (g)	308	314	298	301	26,56	0,456
Tubo digestivo cheio com fígado (g)	186,1 ac	177,7 ab	167,3 b	194,2 c	19,78	0,012
Fígado (g)	30,9 ab	32,4 a	27,2 bc	25,9 c	5,26	0,013
em % de PV	5,1 ab	5,4 a	4,8 bc	4,3 c	0,68	0,002
Tubo digestivo cheio (g)	155,2 a	145,4 ab	140,1 b	168,4 c	15,96	0,001
em % de PV	25,8 ac	24,3 bc	24,7 c	28,1 d	1,81	<0,0001
Estômago cheio (g)	51,7	45,4	45,2	46,6	8,66	0,236
em % de PV	8,6	7,6	7,9	7,8	1,15	0,203
Estômago vazio (g)	9,0	8,9	8,6	9,4	1,00	0,271
em % de PV	1,5	1,5	1,5	1,6	0,15	0,607
pH do estômago	1,88 a	1,47 bc	1,66 b	1,37 c	0,33	<0,0001
Ceco cheio (g)	48,8 ac	39,2 b	41,2 ab	55,7 c	10,43	0,001
em % de PV	8,1 acd	6,6 bc	7,3 c	9,3 d	1,67	0,002
Ceco vazio (g)	9,0 a	8,2 a	8,7 a	10,6 b	1,16	<0,0001
em % de PV	1,5 a	1,4 a	1,6 a	1,8 b	0,24	0,002
pH do ceco	5,97 a	6,37 b	6,47 b	5,72 a	0,33	<0,0001
Rendimento de carcaça (%)	51,3 abd	52,6 bc	52,9 c	50,2 d	1,87	0,003

¹ AL: luzerna; DNL: dreches não lavados; DL: dreches lavados; BEET: polpa de beterraba

a, b, c, d: letras diferentes na mesma linha indicam que as médias diferem significativamente ao nível $P = 0,05$

*RMSE: root mean square error

Quadro10

1º ensaio - Efeito da adaptação ao regime na morfologia do intestino delgado

	AL ¹	DNL ¹	DL ¹	BEET ¹	RMSE*	Significância estatística
Vilosidades						
Altura (µm)	356,19 a	356,41 a	361,45 a	289,02 b	63,42	0,021
Largura (µm)	79,58 ab	71,80 bc	68,82 c	81,24 a	11,18	0,024
Criptas (µm)	77,97 abc	82,63 bd	66,23 c	92,22 d	14,98	0,001
Relação AV:PC	4,86 abc	4,42 b	5,52 c	3,14 d	1,09	<0,0001

¹ AL: luzerna; DNL: dreches não lavados; DL: dreches lavados; BEET: polpa de beterrabaa, b, c, d: letras diferentes na mesma linha indicam que as médias diferem significativamente ao nível $P = 0,05$

*RMSE: root mean square error

3.2. Segundo ensaio

3.2.1. Desenvolvimento dos diferentes órgãos e pH dos conteúdos gástricos e cecais

A natureza da fibra afectou significativamente grande parte dos parâmetros de abate considerados (Quadro 11). Não foram utilizados os resultados de um coelho do regime AL que se apresentava doente.

O peso da carcaça foi afectado significativamente ($P \leq 0,001$) pela natureza de fibra. Os coelhos alimentados com o regime BEET apresentaram um peso de carcaça significativamente inferior (1061 g), os coelhos dos regimes de dreches tiveram um peso de carcaça intermédio (1257 e 1293 g para DNL e DL, respectivamente) e no regime AL os coelhos tiveram carcaças mais pesadas (1406 g).

Expressos em proporção do peso vivo, o peso do aparelho digestivo cheio, do ceco cheio e do ceco vazio foram superiores ($P < 0,0001$) no regime BEET. No entanto, em termos absolutos (g), não existem diferenças no peso do aparelho digestivo cheio entre regimes.

A natureza da fibra não afectou significativamente o peso do estômago cheio ou vazio.

O fígado apresentou-se cerca de 30% mais pesado nos regimes à base de luzerna e dreches (96,4, 89,2 e 83,0 g para AL, DNL e DL, respectivamente) do que no regime BEET (61,3 g).

O pH do conteúdo do estômago foi afectado pela natureza de fibra ($P < 0,05$). O regime AL apresentou pH superior (1,95), os regimes de dreches apresentaram valores de pH intermédios (1,77 e 1,66 para DNL e DL, respectivamente) e o regime BEET apresentou o pH mais baixo (1,28).

O pH do conteúdo cecal foi também afectado pela natureza da fibra ($P < 0,05$), tendo o regime AL um pH inferior (5,75) ao dos restantes regimes (6,00, 6,02 e 6,10 para DNL, DL e BEET, respectivamente).

3.1.2. Morfologia da mucosa intestinal

No Quadro 12 podemos verificar que a morfologia da mucosa intestinal, não foi afectada pela natureza da fibra no decorrer das últimas 6 semanas de ensaio, até aos 70 dias de idade.

Quadro 11

2º ensaio - Efeito da natureza da fibra no peso da carcaça, no desenvolvimento dos compartimentos digestivos e no pH do estômago e do ceco aos 70 dias

	AL ¹	DNL ¹	DL ¹	BEET ¹	RMSE*	Significância estatística
Peso Vivo (g)	2428 a	2224 a	2253 a	1967 b	277,42	0,004
Peso Carcaça (g)	1406 a	1257 a	1293 a	1061 b	177,80	0,001
Tubo digestivo cheio com fígado(g)	560,0	550,8	536,4	562,5	70,20	0,817
Fígado (g)	96,4 a	89,2 a	83,0 a	61,3 b	20,11	0,001
em % de PV	3,9 a	4,0 a	3,7 a	3,1 b	0,66	0,008
Tubo digestivo cheio (g)	463,4	461,6	453,4	501,2	61,46	0,254
em % de PV	19,2 a	20,8 a	20,1 a	26,2 b	3,36	<0,0001
Estômago cheio (g)	118,9	110,0	103,9	108,5	25,24	0,587
em % de PV	4,9	5,0	4,6	5,5	1,10	0,241
Estômago vazio (g)	21,7 abc	22,4 ab	20,7 bc	20,6 c	2,09	0,111
em % de PV	0,9 a	1,0 b	0,9 a	1,1 b	0,09	0,0001
pH do estômago	1,95 a	1,77 ab	1,66 b	1,28 c	0,27	0,030
Ceco cheio (g)	137,6 a	161,8 a	158,7 a	217,2 b	37,55	<0,0001
em % de PV	5,7 a	7,3 a	7,1 a	11,5 b	2,34	<0,0001
Ceco vazio (g)	27,4 a	30,5 a	29,6 a	36,2 b	4,41	0,0002
em % de PV	1,1 a	1,4 a	1,3 a	1,9 b	0,27	<0,0001
pH do ceco	5,75 a	6,00 b	6,02 b	6,10 b	0,27	0,030
Rendimento de carcaça (%)	57,8 a	56,6 a	57,5 a	53,5 b	2,81	0,002

¹ AL: luzerna; DNL: dreches não lavados; DL: dreches lavados; BEET: polpa de beterraba

a, b, c: letras diferentes na mesma linha indicam que as médias diferem significativamente ao nível $P = 0,05$

*RMSE: root mean square error

Quadro12

2º ensaio - Efeito da natureza da fibra na morfologia do intestino delgado

	AL ¹	DNL ¹	DL ¹	BEET ¹	RMSE*	Significância estatística
Vilosidades						
Altura (µm)	497,98	478,66	496,56	460,44	93,62	0,757
Largura (µm)	104,93	96,95	104,08	94,32	13,61	0,198
Criptas (µm)						
	88,70	89,69	87,43	95,00	17,26	0,739
Relação AV:PC						
	5,81	5,45	5,74	5,11	1,38	0,634

¹ AL: luzerna; DNL: dreches não lavados; DL: dreches lavados; BEET: polpa de beterraba

*RMSE: root mean square error

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Todos os regimes estudados tinham um teor de NDF idêntico, apresentando-se de acordo com as últimas recomendações para coelhos em crescimento (de Blas e Mateus, 1998). No entanto, os resultados variaram de acordo com a natureza da fibra.

É admitido geralmente, que o coelho em crescimento, ao receber alimentos equilibrados, é capaz de ajustar o seu consumo de alimento em resposta às variações de concentração energética de forma ingerir diariamente a mesma quantidade de energia digestível (ED) mantendo a sua velocidade de crescimento (Lebas, 1975; Lebas et al, 1982). Este ajuste é possível dentro de uma gama de valores de ED compreendida entre 9,2 e 13,4 MJ kg⁻¹ MS (Gidenne e Perez, 1994).

Os regimes alimentares desta experiência apresentaram valores de ED compreendidos entre 11,12 e 12,85 MJ kg⁻¹ MS, portanto a regulação da ingestão diária de alimento deveria ter ocorrido plenamente. Os resultados zootécnicos mostraram que a adaptação ao regime alimentar durante a primeira semana de ensaio experimental foi mais difícil para os animais dos regimes BEET e DL e mais fácil para os animais do regime AL: nos regimes BEET e DL, a ingestão de MS foi menor, e consequentemente, o aumento de peso vivo durante esta fase apresentou-se ligeiramente menor. Perez et al, 1994, sugerem que deve ser considerado o efeito benéfico de um teor de lenhina elevado na formulação de rações para coelhos desta idade. Visto que o regime DL apresentou um teor de lenhina próximo ao do regime AL, e a ingestão deste último foi superior, podemos associar a diferença no consumo das dietas à diferença do valor de ED. Os coelhos alimentados no regime AL consumiram mais MS do que os coelhos alimentados com os restantes regimes, devido ao teor de ED em AL ser inferior.

Nas semanas seguintes, a diferença na quantidade ingerida de cada regime mantém-se. O regime AL apresenta ao longo de todo o período experimental, o maior consumo diário mas também o pior índice de conversão (IC). No segundo período, o regime BEET apresentou maior quantidade de MS consumida do que os regimes de dreches, no entanto, no terceiro período e no período global, o consumo de MS foi maior no regime AL, intermédio nos regimes de dreches e o regime BEET apresenta a menor ingestão diária. Estes resultados estão de acordo com trabalhos anteriores (Bellier e Gidenne, 1996; Gidenne et al, 2000), em que regimes com menor teor de fibra digestível foram consumidos em menor quantidade.

Os regimes de dreches foram consumidos em maior quantidade do que o regime BEET sem detrimento do IC. O IC foi sempre o mais baixo no regime DL, tendo sido muito próximos nos regimes DNL e BEET, valores também relativamente baixos. O IC do regime

BEET apresentou-se baixo, e de acordo com trabalhos anteriores (Falcão e Cunha et al, 2004), devido ao elevado valor da energia da polpa de beterraba (INRA, 2002). Nesta experiência, a quantidade de MS consumida foi menor nos regimes de dreches do que no regime AL, e no entanto o aumento de peso diário foi idêntico dos 42 aos 70 dias de idade. Uma possível explicação pode ser a melhor utilização da ED das dreches para crescimento e/ou um maior peso dos conteúdos do aparelho digestivo nos regimes de dreches (no entanto, tal não foi confirmado post-mortem). Donde podemos sugerir que as dreches apresentam uma energia de elevado valor para coelhos em crescimento.

São evidentes os efeitos da natureza das fracções da parede celular na sua digestibilidade e também na digestibilidade da MS, MO e energia. Apesar de todos os regimes apresentarem um teor semelhante de NDF, os regimes à base de dreches apresentaram teores mais baixos de celulose e de ADF (inferior a 17-21%, valor recomendado por Gidenne, 1996) e teores elevados de hemiceluloses. Alimentos ricos em hemiceluloses e pectinas são particularmente bem digeridos pelos coelhos (Gidenne e Bellier, 2000; Gidenne e Perez, 2000). A utilização destas fracções da fibra para o crescimento é elevada e comparável à utilização de amido, visto que a substituição de 10% de amido por hemiceluloses e pectinas, numa dieta completa não afectam a eficiência alimentar no coelho em crescimento (Gidenne e Perez, 2000). De Blas et al (1986) referem ser o teor de ADF e/ou fibra bruta a variável melhor correlacionada com a digestibilidade dos parâmetros analisados. Os regimes com menor valor de ADF apresentaram maior digestibilidade global e maior digestibilidade da energia do que o regime AL.

A menor digestibilidade da MS, da MO e da energia em regimes com maior teor de fibra é um facto observado por diversos investigadores entre os quais Lebas et al (1982) e de Blas et al (1986). Segundo Gidenne (1992), a menor digestibilidade fica a dever-se a um decréscimo do tempo de retenção do alimento no aparelho digestivo, o que reduz o tempo disponível para a degradação enzimática da fibra.

As paredes celulares fortemente lenhificadas reduziram a digestibilidade global do regime AL. Por outro lado, o regime DL apresentou um teor de lenhina idêntico ao regime AL, mas teve uma digestibilidade superior e muito próxima da digestibilidade do regime BEET que, de acordo com trabalhos anteriores (Fraga et al, 1991; Falcão e Cunha et al, 2004), tem valores de digestibilidade normalmente elevados. Esta diferença pode dever-se ao menor teor de ADF e ao grande teor de hemiceluloses verificados nos regimes à base de dreches, que torna as várias fracções da dieta mais facilmente digeríveis pelo coelho.

A diferença na constituição da fibra dos regimes em estudo afectou particularmente a digestibilidade das fracções da parede celular. A digestibilidade das hemiceluloses foi menor no regime AL (34%), intermédia nos regimes à base de dreches (49%) e maior no regime

BEET (60%). No regime AL, o valor da digestibilidade das hemiceluloses está de acordo com os valores médios descritos por Gidenne (1996) que se situam entre 25 e 35%. Por outro lado, Garcia et al (1993) obtiveram valores superiores a 60%, mas com proporções de polpa de beterraba no regime superiores a 30%, estando de acordo com os valores obtidos neste trabalho. Os valores de quase 50% obtidos nos regimes à base de dreches sugerem que o tempo de retenção deste alimento seja maior do que no caso do regime à base de luzerna.

Os valores de digestibilidade da celulose nos regimes à base de dreches apresentaram-se de acordo com os valores médios referidos por Gidenne (1996) de 15 a 18%. A digestibilidade desta fracção foi menor no regime AL e maior no regime BEET. As diferenças na digestibilidade da celulose com a natureza da fibra podem ser a consequência de maiores teores de ADF e lenhina do regime de luzerna. Um teor de lenhina superior actua, por um lado, como barreira física à degradação enzimática da fibra (Gidenne, 1987) e, por outro lado, reduz o tempo de permanência do alimento no aparelho digestivo (Nicodemus et al, 1999). A diminuição do tempo de retenção prejudica a digestibilidade da celulose uma vez que diminui o tempo disponível para a sua degradação (Gidenne et al, 2000).

A natureza da fibra não afectou significativamente a digestibilidade da proteína bruta (PB) dos diferentes regimes, como foi referido em trabalhos anteriores (Gidenne e Perez, 1994; Lebas et al, 1982), apesar de existir uma diferença entre os regimes AL e BEET e os regimes à base de dreches. Esta diferença pode dever-se não ao efeito directo da fibra sobre a digestibilidade da PB, mas à substituição de alimentos cuja PB tem digestibilidade e valor biológico elevados. A digestibilidade da PB foi superior nos regimes DL e DNL, e uma vez que estes regimes incluem menor teor de bagaço de soja (cuja PB tem elevado valor biológico) pode implicar que a PB das dreches seja também de elevado valor biológico, apresentando uma digestibilidade superior.

Na primeira semana de ensaio experimental, a adaptação aos regimes foi idêntica e sem diferenças significativas em grande parte dos parâmetros de abate analisados. No entanto, verificou-se um menor desenvolvimento do tubo digestivo cheio nos animais alimentados com dreches, que apresentaram os estômagos e cecos menos pesados e menor quantidade de conteúdos gástricos e cecais, resultando num melhor rendimento de carcaça, relativamente aos outros regimes. O regime BEET apresentou o tubo digestivo cheio mais pesado e mais desenvolvido relativamente ao seu peso vivo (PV), apresentando estômago e ceco vazios mais pesados. Os regimes BEET e DL apresentaram o fígado menos pesado, diferença que se acentua ao longo do período experimental.

Os valores de pH dos conteúdos gástricos e dos conteúdos cecais apresentaram diferenças muito significativas nesta primeira fase de ensaio, com o pH no estômago do regime AL mais alto, das dreches intermédio e do regime BEET mais ácido. No ceco verificaram-se valores de pH mais baixos nos regimes AL e BEET e mais próximos da neutralidade nos regimes de dreches. Os resultados dos valores do pH cecal encontram-se de acordo com trabalhos anteriores (Gidenne e Jehl, 1996), que referem um valor de pH inferior nos regimes ricos em fibra digestível (pectinas e hemiceluloses), que é o caso do regime BEET e dos regimes à base de dreches.

No final do ensaio, observaram-se diferenças mais significativas de acordo com a natureza da fibra do que na primeira semana de experiência. O peso de carcaça mostrou-se inferior nos animais do regime BEET, assim como o seu rendimento em carcaça. Os regimes de dreches apresentaram pesos de carcaça e rendimentos semelhantes ao regime de luzerna, que está associado ao maior PV destes animais, uma vez que o peso do tubo digestivo cheio com fígado não foi significativamente afectado pelas características dos regimes. Verificando que o consumo do regime de luzerna foi superior ao consumo dos regimes de dreches, estes podem ser melhor utilizados para o crescimento e desenvolvimento do coelho.

Nesta fase, não se observaram diferenças no desenvolvimento do tubo digestivo cheio como um todo, no entanto, em proporção de PV verificou-se que o regime BEET apresentou um tubo digestivo cheio maior relativamente ao seu peso. O ceco dos coelhos alimentados com polpa de beterraba apresentaram o ceco mais desenvolvido e, de acordo com Fraga et al (1991), conteúdos cecais mais pesados. Segundo Carabaño et al (1988), um maior desenvolvimento do ceco pode estar relacionado com um aumento do tempo de retenção do alimento neste compartimento digestivo. No final do período experimental, a diferença no desenvolvimento deste órgão, nos vários regimes, pode ser confirmada post-mortem. Os coelhos alimentados com dreches também apresentaram cecos mais pesados do que os coelhos alimentados com luzerna, sugerindo que o tempo de retenção do alimento foi maior no regime BEET e nos regimes de dreches, contribuído assim para a melhor digestibilidade nestes regimes.

De acordo com Gidenne (1992), o aumento da parte distal do tracto gastrointestinal (ceco e cólon) contribui para uma maior degradação da fibra em coelhos alimentados com dietas ricas em fibra. Esse aumento do volume dos compartimentos e, portanto, da degradação da fibra, reflecte-se na maior digestibilidade do NDF nas dietas. De facto, nos regimes à base de dreches e no regime de polpa de beterraba, a digestibilidade do NDF foi significativamente superior à digestibilidade do NDF no regime de luzerna, apresentando também um peso do ceco superior, confirmando os resultados obtidos por Gidenne (1992).

O regime AL apresentou um peso de conteúdos gástricos superior, possivelmente resultando da maior quantidade de alimento ingerida pelos animais deste regime. No entanto, e de acordo com Fraga e tal (1991), não se observaram diferenças significativas do peso do estômago com a natureza da fibra.

Relativamente ao efeito da fonte de fibra na morfologia do intestino delgado verificou-se uma diferença significativa apenas na semana de adaptação ao regime alimentar, não existindo qualquer efeito significativo no decorrer das últimas 6 semanas de ensaio, até aos 70 dias de idade, tal como foi observado por diversos autores (Anugwa et al, 1989; Calvert et al, 1985; Glitso et al, 1998).

Na primeira fase do período experimental, as vilosidades apresentaram-se mais largas nos regimes AL e BEET e mais estreitas nos regimes à base de dreches. As glândulas apresentaram-se muito profundas no regime BEET, intermédias nos regimes AL e DNL e pouco profundas no regime DL. Estes factos mostraram-se contraditórios aos resultados obtidos em porcos por Jin et al (1994), que verificou um aumento na largura das vilosidades e na profundidade das glândulas em animais alimentados com regimes ricos em lenhina.

Ao comparar a relação entre a altura das vilosidades e a profundidade das glândulas entre regimes, verificou-se um efeito significativo da natureza da fibra nos primeiros dias de adaptação ao regime. Os regimes DL e AL apresentaram vilosidades maiores relativamente à profundidade das glândulas e o regime BEET apresentou a menor relação AV:PC, desta forma e de acordo com Li (1991), pode ser sugerido que a absorção de nutrientes pode ser mais eficiente nos regimes DL e AL, relativamente ao regime BEET, na fase inicial.

Por outro lado, no decorrer do ensaio até aos 70 dias de idade não se verificam diferenças significativas entre a mucosa dos coelhos alimentados em diferentes regimes, sugerindo que a morfologia do intestino não é dependente da natureza da fibra, ao longo da vida do coelho, e que os resultados iniciais são apenas o reflexo da adaptação de animais jovens ao novo regime alimentar.

CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostram que a natureza da fibra tem um efeito marcado na digestibilidade dos componentes da dieta, nos parâmetros produtivos e no desenvolvimento do aparelho digestivo.

A digestibilidade dos regimes depende principalmente da digestibilidade da fibra que o constitui. O regime com luzerna apresentou, de maneira geral, menor digestibilidade do que os regimes à base de dreches, tendo o regime com polpa de beterraba apresentado digestibilidades superiores. Isto manifesta a importância de ter em consideração, não apenas o teor em fibra, mas também a sua natureza, na formulação de alimentos para coelhos.

As características dos regimes não afectaram de forma marcada o desenvolvimento do aparelho digestivo.

Há que ter em conta a eficácia da utilização do alimento para o crescimento, donde se verificou um índice de conversão menor nos regimes com dreches e no regime com polpa de beterraba. Por outro lado, no regime com luzerna e nos regimes com dreches apresentaram-se pesos finais superiores.

Estes resultados, pesos finais elevados e baixos índices de conversão, indicam um bom aproveitamento das dreches de cervejaria no desenvolvimento e crescimento de coelhos, pelo que podem ser utilizadas como fonte de fibra nos regimes formulados para estes animais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andoh, A., Bamba, T., Sasaki, M. (1999) *Physiological and anti-inflammatory roles of dietary fiber and butyrate in intestinal functions*. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition, 23: 70-73.
- Anugwa, F. O., Varel, F. H., Dickson, J. S., Pong, W. G., Krook, L. P. (1989) *Effects of dietary fibre and protein concentration on growth, feed efficiency, visceral organ weights and large intestinal microbial populations of swine*. Journal of Nutrition, 119: 879-886.
- Arruda, A. M. V., Pereira, E. S., Mizubuti, I., Silva, L. (2003) *Importância da fibra na nutrição de coelhos*. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, 24 (1): 181-190.
- Arruda, A. M. V., Fernandes, R. T. V., Silva, J. M., Lopes, D. C. (2008) *Avaliação morfo-histológica da mucosa intestinal de coelhos alimentados com diferentes níveis e fontes de fibra*. Caatinga (Mossoró, Brasil), 21 (2): 1-11.
- Bartolomé, B., Gómez-Cordovés, C. (1999) *Barley spent grain: release of hydroxycinnamic acids (ferulic and p-coumaric acids) by commercial enzyme preparations*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79: 435-439.
- Batajoo, K. K., Shaver, R. D. (1994) *Impact of nonfiber carbohydrate on intake, digestion and milk production by dairy cows*. Journal of Dairy Science, 77: 1580-1588.
- Bellier, R., Gidenne, T. (1996) *Consequences of reduced fibre intake on digestion, rate of passage and caecal microbial activity in the young rabbit*. British Journal of Nutrition, 75: 353-363.
- Bennegadi, N., Gidenne, T., Licois, D. (2001) *Impact of fibre deficiency and sanitary status on non-specific enteropathy of the growing rabbit*. Animal Research, 50: 401-413.
- Bianchini, W., Rodrigues, E., Jorge, A. M., Andrigheto, C. (2007) *Importância da fibra na nutrição de bovinos*. REDVET, Revista electrónica de Veterinária 1695-7504, VIII (2): 1-14.
- Brett, C. T., Waldron, K. W. (1996) *Physiology and biochemistry of plant cell walls*. 2th ed. Cambridge C&H Books.

Briggs, D. E., Hough, J. S., Young, T. W., Stevens, R. (1982) *Malting and Brewing Science: malt and sweet wort*, Springer (Ed.), v.1., pp. 914.

Calvert, R., Schneeman, B. O., Satchithanandam, S., Cassidy, M. M., Vahouny, G. V. (1985) *Dietary fibre and intestinal adaptation: effects on intestinal and pancreatic digestive enzyme activities*. The American Journal of Clinical Nutrition, 41: 1249-1256.

Canzi, E., Zanchi, R., Camaschella, P., Cresci, A., Greppi, G. F., Orpianesi, C., Serrantoni, M., Ferrari, A. (2000) *Modulation by lactic-acid bacteria of the intestinal ecosystem and plasma cholesterol in rabbits fed a casein diet*. Nutrition Research, 20 (9): 1329-1340.

Carabaño, R., Fraga, M. J., Santomá, G., de Blas, J. C. (1988) *Effect of diet on composition of cecal contents and on excretion and composition of soft and hard faeces of rabbits*. Journal of Animal Science, 66: 901-910.

Carabaño, R., Garcia, J., Gómez-Conde, S., de Blas, C. (2002) *Relación entre nutrición y patologías digestivas en conejos. Implicaciones practicas*. II Jornadas Internacionais de Cunicultura - Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, pp 75-95.

Carabaño, R., Piquer, J. (1998) *The digestive system of the rabbit*. In: de Blas, C., Wiseman, J. (Eds.), The Nutrition of the Rabbit, CAB International, Wallingford, 1: 1-16.

Carpita, N. C. (1996) *Structure and biogenesis of the cell walls of grasses*. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 47: 445-476.

Carpita, N. C., Gibeau, D. M. (1993) *Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth*. The Plant Journal, 3: 1-30.

Cummings, J. H., Roberfroid, M., Andersson, H., Barth, C., Ferro-Luzzi, A., Ghos, Y., Gibney, M., Hermansen, K., James, W. P. T., Korver, O., Lairon, D., Pascal, G., Voragen, A. G. S. (1997) *A new look at dietary carbohydrate: chemistry, physiology and health*. European Journal of Clinical Nutrition, 51: 417-423.

de Blas, J. C., Garcia, J., Carabaño, R. (1999) *Role of fibre in rabbit diets; a review*. Annales de Zootechnie, 48 (1): 3-13.

de Blas, J. C., Mateus, G. (1998) *Feed formulation*. In: de Blas, C., Wiseman, J. (Eds.), *The Nutrition of the Rabbit*, CAB International, Wallingford, pp. 241-253.

de Blas, J. C., Santomá, G., Carabaño, R., Fraga, M. J. (1986) *Fiber and starch levels in fattening rabbits diets*. *Journal of Animal Science*, 63: 1897-1904.

DeVries, J. W., Prosky, L., Li, B., Cho, S. (1999) *A historical perspective on defining dietary fibre*. *Cereal Foods World*, 44: 367-369.

El-Shafey, E. I., Gameiro, M. L. F., Correia, P. F. M., de Carvalho, J. M. R. (2004) *Dewatering of brewer's spent grain using a membrane filter press: a pilot plant study*. *Separation Science and Technology*, 39: 3237-3261.

Falcão e Cunha, L. (2000) *Fisiologia digestiva do Coelho. Aspectos mais relevantes*. I Jornadas Internacionais de Cunicultura - Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, pp 49-69.

Falcão e Cunha, L., Peres, H., Freire, J. P. B., Castro-Solla, L. (2004) *Effects of alfafa, wheat bran or beet pulp, with or without sunflower oil, on caecal fermentation and on digestibility in the rabbit*. *Animal Feed Science and Technology*, 117: 131-149.

Fastnaught, C. E. (2001) *Barley fiber*. In: Cho, S. S., Dreher, M. L. (Eds.), *Handbook of Dietary Fiber*, Marcel Dekker, New York, pp. 519-542.

Fernandez, M. P., Rodriguez, J. F., García, M. T., de Lucas, A., Gracia I. (2008) *Application of Supercritical Fluid Extraction to Brewer's Spent Grain Management*. American Chemical Society.

Fortun-Lamothe, L., Boullier, S. (2007) *A review on the interactions between gut microflora and digestive mucosal immunity. Possible ways to improve the health of rabbits*. *Livestock Science* 107: 1-18.

Fraga, M. J., Pérez de Ayala, P., Carabaño, R., de Blas, J. C. (1991) *Effect of type of fiber on the rate of passage and on the contribution of soft faeces to nutrient intake of finishing rabbits*. *Journal of Animal Science*, 69: 1566-1574.

Garcia, J., Carabaño, R., de Blas, J. C. (1999) *Effect of fiber source on cell wall digestibility and rate of passage in rabbits*. Journal of Animal Science, 77: 898-905.

Garcia, J., Carabaño, R., Pérez-Alba, L., de Blas, J. C. (2000) *Effect of fiber source on cecal fermentation and nitrogen recycled through cecotrophy in rabbits*. Journal of Animal Science, 78: 638-646.

Garcia, J., de Blas, J. C., Carabano, R., Garcia, P. (1995) *Effect of type of lucerne hay on caecal fermentation and nitrogen contribution through caecotrophy in rabbits*. Reproduction, Nutrition, Development, 35: 267-275.

Garcia, J., Galvez, J. F., de Blas, J. C. (1993) *Effect of substitution of sugarbeet pulp for barley in diets for finishing rabbits on growth performance and on energy and nitrogen efficiency*. Journal of Animal Science, 71: 1823-1830.

Gidenne, T. (1987) *Utilisation digestive de rations riches en lignines chez lapin en croissance: mesures de flux et de transit dans différents segments digestifs*. Annales de Zootechnie, 36 (2): 95-108.

Gidenne, T. (1992) *Effect of fibre level, particle size and adaptation period on digestibility and rate of passage as measured at the ileum and in the faeces in adult rabbit*. British Journal of Nutrition, 67: 133-146.

Gidenne, T. (1996) *Conséquences digestives de l'ingestion de fibres et d'amidon chez le lapin en croissance: vers une meilleure définition des besoins*. INRA Production Animale, 9: 243-254.

Gidenne, T. (1997) *Caeco-colic digestion in the growing rabbit: impact of nutritional factors and related disturbances*. Livestock Production Science, 51: 73-88.

Gidenne, T. (2003) *Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre*. Livestock Production Science, 81: 105-117.

Gidenne, T., Arveux, P., Madec, O. (2001a) *The effect of the quality of dietary lignocellulose on digestion, zootechnical performance and health of the growing rabbit*. Animal Science, 73 : 97-104.

- Gidenne, T., Bellier, R. (2000) *Use of digestible fibre in replacement to available carbohydrates: effect on digestion, rate of passage and caecal fermentation pattern during the growth of the rabbit*. Livestock Production Science, 63: 141-152.
- Gidenne, T., Combes, S., Licois, D., Carabaño, R., Badiola, I., Garcia, J. (2008) *Ecosystème caecal et nutrition du lapin: interactions avec la santé digestive*. INRA Productions Animales, 21 (3): 239-250.
- Gidenne, T., Fortun-Lamothe, L. (2002) *Feeding strategy for young rabbit around weaning: a review of digestive capacity and nutritional needs*. Animal Science, 75: 169-184.
- Gidenne, T., Lebas, F. (2005) *Le comportement alimentaire du lapin*. 11èmes Journées de la Recherche Cunicole, 29-30 Novembre, Paris, pp. 183-196.
- Gidenne, T., Jehl, N. (1996) *Replacement of starch by digestible fibre in the feed for the growing rabbit. I. Consequences for digestibility and rate of passage*. Animal Feed Science and Technology, 61: 183-192.
- Gidenne, T., Kerdiles, V., Jehl, N., Arveux, P., Briens, C., Eckenfelder, B., Fortune, H., Montessuy, S., Muraz, G. (2001b) *Effet d'une hausse du ratio fibres digestibles/proteins sur les performances zootechniques et l'état sanitaire du lapin en croissance: résultats préliminaires d'une étude multi-site*. In: Bolet, G. (Ed.), 9ème Journées de la Recherche Cunicoles Fr., 28-29 November. ITAVI, Paris, pp. 65-68.
- Gidenne, T., Perez, J. M. (1994) *Apports de legnines et alimentation du lapin en croissance. 1. Conséquences sur la digestion et le transit*. Annales de Zootechnie, 43: 313-322.
- Gidenne, T., Perez, J. M. (2000) *Replacement of digestible fibre by starch in the diet of the growing rabbit. I. Effects on digestion, rate of passage and retention of nutrients*. Annales de Zootechnie, 49: 357-368.
- Gidenne, T., Pinheiro, V., Falcao-e-Cunha, L., (2000) *A comprehensive approach of the rabbit digestion: consequences of a reduction in dietary fibre supply*. Livestock Production Science, 64: 225-237.

- Giusi-Perier, A., Fiszlelewicz, M., Rérat, A. (1989) *Influence of diet composition on intestinal volatile fatty acids and nutrient absorption in unanesthetized pigs*. Journal of Animal Science, 67: 386-402.
- Glitsso, L. V., Brunsgaard, G., Hojsgaard, S., Sandström, B., Bach Knudsen, K. E. (1998) *Intestinal degradation in pigs of rye dietary fibre with different structural characteristics*. British Journal of Nutrition, 80: 457-468.
- Glitsso, L. V., Gruppen, H., Schols, H. A., Hojsgaard, S., Sandström, B., Bach Knudsen, K. E. (1999) *Degradation of rye arabinoxylans in the large intestine of pigs*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79: 961-969.
- Graham, H., Hesselman, K., Aman, P. (1986) *The influence of wheat bran and sugar-beet pulp on the digestibility of dietary components in a cereal based pig diet*. The Journal of Nutrition, 116: 242-251.
- Harcourt-Brown, F. (2002) *Textbook of rabbit medicine*. Butterworth Heinemann, pp. 410.
- Herrera, A. P. N., Santiago, G. S., Medeiros, S. L. S. (2001) *Importância da fibra na nutrição de coelhos*. Ciência Rural, Santa Maria, 31 (3): 557-561.
- Hough, J. S. (1991) *The biotechnology of malting and brewing*. Cambridge University Press, pp. 184.
- Huige, N. J. (1994) *Brewery by-products and effluents*. In: Hardwick, W. A. (Ed.), Handbook of Brewing, Marcel Dekker, New York, pp. 501-550.
- Iiyama, K., Lam, T. B.-T., Stone, B. A. (1994) *Covalent cross links in the cell wall*. Plant Physiology, 104: 315-320.
- Iji, P. A., Saki, A. A., Tivey, D. R. (2001) *Intestinal development and body growth of broiler chicks on diets supplemented with non-starch polysaccharides*. Animal Feed Science and Technology, 89: 175-188.
- INRA (2002) *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. D. Sauvant, J. M. Perez and T. Gilles éditeurs. AFZ et INRA editions.

Izydorczyk, M. S., Biliaderis, C. G. (1995) *Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties*. Carbohydrate Polymers, 28: 33-48.

Jay, A. J., Parker, M. L., Faulks, R., Husband, F., Wilde, P., Smith, A. C., Faulds, C. B., Waldron, K. W. (2007) *A systematic micro-dissection of brewers' spent grain*. Journal of Cereal Science, 47: 1-8.

Jensen, B. B., Jorgensen, H. (1994) *Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs*. Applied and Environmental Microbiology, 60: 1897-1904.

Jin, L., Reynolds, L. P., Redmer, D. A., Caton, J., Srenshaw, J. D. (1994) *Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, morphology in growing pigs*. Journal of Animal Science, 72: 2270-2278.

Johansen, H. N., Knudsen, K., E. (1994a) *Effects of reducing the starch content in oat-based diets with cellulose on jejunal flow and absorption of glucose over an isolated loop of jejunum in pigs*. British Journal of Nutrition, 72: 717-729.

Johansen, H. N., Knudsen, K., E. (1994b) *Effects of wheat-four and oat mill fractions on jejunal flow, starch degradation and absorption of glucose over an isolated loop of jejunum in pigs*. British Journal of Nutrition, 72: 299-313.

Johansen, H. N., Bach Knudsen, K. E., Sandström, B. (1996) *Effect of varying content of soluble dietary fibre from wheat flour and oat milling fractions on gastric emptying in pigs*. Br. J. Nutr., 75: 339-351.

Johansen, H. N., Bach Knudsen, K. E., Wood, P. J., Fulcher, R. G. (1997) *Physico-chemical properties and the digestibility of polysaccharides from oats in the gastrointestinal tract of pigs*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 73: 81-92.

Jorgensen, H., Zhao, X.-Q., Eggum, B. O. (1996) *The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs*. British Journal of Nutrition, 75: 365-378.

- Just, A., Fernández, J. A., Jorgensen, H. (1983) *The net energy value of diets for growing pigs in relation to the fermentative processes in the digestive tract and the site of absorption of nutrients*. Livestock Production Science, 10: 171-186.
- Kaur, V. L., Saxena, P. K. (2004) *Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps*. Bioresource Technology, 91: 101-104.
- Kawka, A., Gorecka, D., Gasiorowski, H. (1999) *The effect of commercial barley flakes on dough characteristic and bread composition*. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology 2 (2).
- Kendal, N. T. (1994) *Barley and malt*. In: Hardwick, W. A. (Ed.), Handbook of Brewing. Marcel Dekker, New York, pp. 109-120.
- Kissel, L. T., Prentice, N. (1979) *Protein and fiber enrichment of cookie flour with brewers' spent grain*. Cereal Chemistry, 56: 2361-2364.
- Knudsen, K. E. B. (2001) *The nutritional significance of "dietary fibre" analysis*. Animal Feed Science and Technology, 90: 3-20.
- Knudsen, K. E. B., Hansen, I. (1991) *Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents*. British Journal of Nutrition, 65: 217-232.
- Knudsen, K. E. B., Jensen, B. B., Hansen, I. (1993) *Digestion of polysaccharides and other major components in the small and large intestine of pigs fed diets consisting of oat fractions rich in β -D-glucan*. British Journal of Nutrition, 70: 537-556.
- Laplace J. P. (1978) *Le transit digestif chez les monogastriques. 3. Comportement (prise de nourriture, caecotrophie), motricité et transit digestif et pathogénie des diarrhées chez le lapin*. Annales de Zootechnie, 27: 225-265.
- Lebas, F. (1975) *Influence de la teneur en énergie de l'aliment sur les performances de croissance chez le lapin*. Annales de Zootechnie, 24: 281-288.

Lebas, F., Gidenne, T., Perez, J. M., Licois, D. (1998) *Nutrition and pathology*. In: de Blas, C., Wiseman, J. (Eds.), *The Nutrition of the Rabbit*. CAB International, Wallingford, 11: 197-214.

Lebas, F., Laplace, J. P. (1972) *Mensurations viscérales chez le lapin. I. Croissance du foie des reins et des divers segments intestinaux entre 3 et 11 semaines d'âge*. Annales de Zootechnie, 21: 37-47.

Lebas, F., Laplace, J. P. (1977) *Le transit digestif chez le lapin. VI. Influence de la granulation des aliments*. Annales de Zootechnie, 26 (1): 83-91.

Lebas, F., Laplace, J. P., Droumenq, P. (1982) *Effects de la teneur en énergie de l'aliment chez le lapin et de la séquence des régimes alimentaires*. Annales de Zootechnie, 31 (3): 233-256.

Li, D. F. (1991) *Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs*. Journal of Animal Science, 69: 4062-4069.

Macleod, A. M. (1979) *The physiology of malting*. In: Pollock, J. R. A. (Ed.), *Brewing Science*, vol. 1, Academic Press, New York, pp. 145-232. (citado por Mussato et al, 2006).

Malkki, Y., Virtanen, E. (2001) *Gastrointestinal effects of oat bran and oat gum - a review*. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie – Journal of Food Science and Technology, 34: 337-347.

Marry, M., McCann, M. C., Kolpak, F., White, A. R., Stacey, N. J., Roberts, K. (2000) *Extraction of pectic polysaccharides from sugar-beet cell walls*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80: 17-28.

McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A. (2002) *Cereal grains and cereal by-products*. Animal Nutrition, 6th edition: 560-582.

McDougall, G. J., Morrison, I. M., Stewart, D., Hillman, J. R. (1996) *Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 70: 133-150.

- Mertens, D. R., (2001) *Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations*. In: Simpósio Internacional em Bovinos de Leite, Lavras. Anais... Lavras:Ufla-Faepe, 2: 25-36.
- Mišta, D. (2009) *Gastric microbial fermentation in rabbit under influence of dietary supplement – humobentofet at in vitro study*. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 12 (1).
- Montagne, L., Pluske, J. R., Hampson, D. J. (2003) *A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals*. Animal Feed Science and Technology, 108: 95-117.
- Moore, W. E. C., Moore, L. V. H., Cato, E. P., Wilkins, T. D., Kornegay, E. T. (1987) *Effect of high-fiber and high-oil diets on the fecal flora of swine*. Applied and Environmental Microbiology, 53: 1638-1644.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., Roberto, I. C. (2006) *Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications*. Journal of Cereal Science, 43: 1-14.
- Mussatto, S. I., Roberto, I. C. (2005) *Acid hydrolysis and fermentation of brewers' spent grain to produce xylitol*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85: 2453-2460.
- Mussatto, S. I., Roberto, I. C. (2006) *Chemical characterization and liberation of pentose sugars from brewer's spent grain*. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 81: 268–274.
- Nicodemus, N., Carabaño, R., Garcia, J., Mendez, J., de Blas, C. (1999) *Performance response of lactating and growing rabbits to dietary lignin content*. Animal Feed Science and Technology, 80: 43-54.
- Orengo, J., Gidenne, T. (2007) *Feeding behaviour and caecotrophy in the young rabbit before weaning: An approach by analysing the digestive contents*. Applied Animal Behaviour Science, 102: 106-118.
- Öztürk, S., Özboy, Ö., Cavidoglu, I., Köksel, H. (2002) *Effects of brewers' spent grain on the quality and dietary fibre content of cookies*. Journal of the Institute of Brewing, 108: 23-27.

Padilha, M. T. S., Licois, D., Gidenne, T., Carré, B. (1999) *Caecal microflora and fermentation pattern in exclusively milk-fed young rabbits*. *Reproduction, Nutrition, Development*, 39: 223-230.

Padilha, M. T. S., Licois, D., Gidenne, T., Carré, B., Fonty, G. (1995) *Relationships between microflora and caecal fermentation in rabbits before and after weaning*. *Reproduction, Nutrition, Development*, 35: 375-386.

Pascual, J. J. (2001) *Early weaning of young rabbits: a review*. *World Rabbit Science*, 9 (4): 165-170.

Perez, J. M., Gidenne, T., Bouvarel, I., Arveux, P., Bourdillon, A., Briens, C., Le Naour, J., Messenger, B., Mirabito, L. (1996) *Apports de cellulose dans l'alimentation du lapin en croissance. II. Conséquences sur les performances et la mortalité*. *Annales de Zootechnie*, 45: 299-309.

Perez, J. M., Gidenne, T., Bouvarel, I., Arveux, P., Bourdillon, A., Briens, C., Le Naour, J., Messenger, B., Mirabito, L. (2000) *Replacement of digestible fibre by starch in the diet of growing rabbit. II. Effects on performances and mortality by diarrhoea*. *Annales de Zootechnie*, 49: 369-377.

Perez, J. M., Gidenne, T., Lebas, F., Caudron, I., Arveux, P., Bourdillon, A., Duperray, J., Messenger, B. (1994) *Apports de lignines et alimentation du lapin en croissance. II. Conséquences sur les performances de croissance et la mortalité*. *Annales de Zootechnie*, 43: 323-332.

Piattoni, F., Maertens, L., Demeyer, D. (1995) *Age dependent variation of caecal contents composition of young rabbits*. *Archives of Animal Nutrition*, 48: 347-355. (citado por Falcão-e-Cunha, 2000).

Prentice, N., d'Appolonia, B. L. (1977) *High-Fiber Bread Containing Brewer's Spent Grain*. *Cereal Chemistry*, 54 (5):1084-1095.

Prentice, N., Kissell, L. T., Lindsay, R. C., Yamazaki, W. T. (1978) *High-fiber cookies containing brewers spent grain*. *Cereal Chemistry*, 55: 712-721.

Prentice, N., Refsguard, J. M. (1978) *Enzymatic hydrolysis of brewers' spent grain*. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 36: 196-200.

Reinold, M., R. (1997) *Manual prático de Cervejaria*. First ed, Aden Editora e Comunicações Ltda, São Paulo, pp. 214. (citado por Mussatto et al, 2006 e Mussatto e Roberto, 2006).

Santos, M., Jiménez, J. J., Bartolomé, B., Gómez-Cordovés, C., del Nozal, M. J. (2003) *Variability of brewer's spent grain within a brewery*. Food Chemistry, 80: 17-21.

Sawadogo, L., Sepehri, H., Houdebine, L. M. (1989) *Mise en evidence d'un facteur stimulant la sécrétion de prolactine et de l'hormone de croissance dans les drèches de brasserie*. Reproduction, Nutrition, Development, 29: 139-146.

Scapinello, C., Gidenne, T., Fortun-Lamothe, L. (1999) *Digestive capacity of rabbit during the post weaning period, according to the milk/solid feed intake pattern before weaning*. Reproduction Nutrition Development, 39: 423-432.

Selvendran, R. R. (1984) *The plant cell wall as a source of dietary fibre: chemistry and structure*. American Journal of Clinical Nutrition, 39: 320-337.

Slade, L. M., Hintz, H. F. (1969) *Comparison Of Digestion In Horses, Ponies, Rabbits And Guinea Pigs*. Journal of Animal Science, 28: 842-843.

Southgate D. A. T. (1990) *The role of dietary fibre in the diet*. The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health, 110 (5): 174-178.

Thacker, E. J., Brandt, C. S. (1955) *Coprohagy in the rabbit*. The Journal of Nutrition, 55 (3): 375-385.

Theander, O., Westerlund, E., Aman, P., Graham, H. (1989) *Plant cell walls and monogastric diets*. Animal Feed Science and Technology, 23: 205-225.

Trowell, H. (1974) *Definition of fibre*. Lancet 503

Trowell, H., Southgate, D. A. T., Wolever, T. M. S., Leeds, A. R., Gassull, M. A., Jenkins, D. J. A. (1976) *Dietary fibre redefined*. Lancet 967.

Udén, P., Rounsaville, T. R., Wiggans G. R., Van Soest, P. J. (1982) *The measurement of liquid and solid digesta retention in ruminants, equines and rabbits given timothy (Phleum pratense) hay*. British Journal of Nutrition, 48: 329-339.

Van Soest, P. J. (1967) *Development of a Comprehensive System of Feed Analyses and its Application to Forages*. Journal of Animal Science, 26: 119-128.

Van Soest, P. J. (1994) *Nutritional ecology of the ruminant*. 2th ed. New York: Cornell University Press.

Van Soest, P. J., McQueen, R. W. (1973) *The chemistry and estimation of fibre*. Proceedings of the Nutrition Society, 32: 123-130.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A. (1991) *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition*. Journal of Dairy Science, Savoy, 74 (10): 3583-3597.

Van Soest, P. J., Wine, R. H. (1967) *Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell wall constituents*. The Journal of AOAC International, 50: 50-55.

Whitney, J. C., Blackmore, D. K., Townsend, G. H., Parkin, R. J., Hugh-Jones, M. E., Crossman, P. J., Graham-Marr, T., Rowlands, A. C., Festing, M. F. W., Krzysiak, D. (1976) *Rabbit Mortality Survey*. Laboratory Animals, 10: 203-207.

Zhang, J. X., Lundin, E., Andersson, H., Bosaeus, I., Dahlgren, S., Hallmans, G., Stenling, R., Aman, P. (1991) *Brewer's spent grain, serum lipids and fecal sterol excretion in human subjects with ileostomies*. Journal of Nutrition, 121: 778-784.